

Série A, N° : 205

N° d'ordre : 229

THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

M. Jean URBANEK

Ingenieur diplômé de l'Université des Sciences Techniques de Budapest.

1^{re} Thèse : LA DIFFUSION DE LA LUMIÈRE PAR LES SURFACES POLIES.

2^e Thèse : PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues, le 14 Juin 1930, devant la Commission d'examen

Jury d'examen { MM. CH. FABRY, président;
LOUIS DUNOYER, } examinateurs.
HENRI CHRÉTIEN, }

Éditions de la *Revue d'Optique théorique et instrumentale*

3 et 5, Boulevard Pasteur - 165, Rue de Sèvres, Paris (xv^e)

1930.

Série A, N° : 205

N° d'ordre : 229

THÈSES

présentées à la

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

POUR OBTENIR LE TITRE DE

DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

PAR

M. Jean URBANEK

Ingenieur diplômé de l'Université des Sciences Techniques de Budapest.

1^{re} Thèse : LA DIFFUSION DE LA LUMIÈRE PAR LES SURFACES POLIES.

2^e Thèse : PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues, le

1930, devant la Commission d'examen

Jury d'examen { MM. CH. FABRY, *président*;
LOUIS DUNOYER, } *examineurs.*
HENRI CHRÉTIEN, }

Éditions de la *Revue d'Optique théorique et instrumentale*

3 et 5, Boulevard Pasteur - 165, Rue de Sèvres, Paris (xv^e)

1930

FACULTÉ DES SCIENCES DE L'UNIVERSITÉ DE PARIS

MM.

DOYEN.

C. MAURAIN, *Professeur*, Physique du globe.

DOYENS

HONORAIRES.

{ P. APPELL.
M. MOLLIARD.

PROFESSEURS

HONORAIRES.

{ A. JOANNIS.
H. LE CHATELIER.
H. LEBESGUE.
A. FERNBACH.
A. LEDUC.
E. HÉROUARD.

PROFESSEURS.

Émile PICARD. . . . Analyse supérieure et algèbre supérieure.
G. KÖNIGS Mécanique physique et expérimentale.
E. GOURSAT. . . . Calcul différentiel et calcul intégral.
P. JANET Électrotechnique générale.
F. WALLERANT . . . Minéralogie.
P. PAINLEVÉ Mécanique analytique et mécanique céleste.
Gabriel BERTRAND. . Chimie biologique.
M^{me} P. CURIE Physique générale et radioactivité.
M. CAULLERY Zoologie (Évolution des êtres organisés).
G. URBAIN Chimie générale.
Émile BOREL Calcul des probabilités et Physique mathém.
L. MARCHIS Aviation.
Jean PERRIN Chimie physique.
Rémy PERRIER Zoologie (Enseignement P. C. N.).
H. ABRAHAM Physique.
M. MOLLIARD Physiologie végétale.
E. CARTAN Géométrie supérieure.
L. LAPICQUE Physiologie générale.
E. VESSIOT Théorie des fonctions et théorie des transformations.
A. COTTON Physique générale.
J. DRACH Application de l'analyse à la géométrie.
Charles FABRY Physique.
Charles PÉREZ Zoologie.
Léon BERTRAND. . . . Géologie structurale et géologie appliquée.
R. LESPIEAU Théories chimiques.
E. RABAUD Biologie expérimentale.
P. PORTIER. . . . Physiologie comparée.
É. BLAISE Chimie organique.
P.-A. DANGEARD. . . Botanique.
Paul MONTEL Mécanique rationnelle.
P. WINTREBERT. . . . Anatomie et histologie comparées.
O. DUBOSCQ. . . . Biologie maritime.
G. JULIA Mathématiques générales.
A. MAILHE Étude des combustibles.
L. LUTAUD Géographie physique et géologie dynamique.
Eugène BLOCH Physique théorique et physique céleste.
Henri VILLAT Mécanique des fluides et applications.
Ch. JACOB Géologie.
P. PASCAL Chimie minérale.
Léon BRILLOUIN . . . Théories physiques.
V. AUGER Chimie appliquée.
E. ESCLANGON Astronomie.

E. PÉCHARD. . . . Chimie (Enseigt P. C. N.).
M. GUICHARD. . . . Chimie minérale.
A. GUILLET Physique.
C. MAUGUIN Minéralogie.
L. BLARINGHEM. . . Botanique.
A. MICHEL-LÉVY . . . Pétrographie.
A. DEREIMS Géologie.
A. DENJOY Calcul différentiel et intégral.
H. BÉNARD Physique (P. C. N.).
E. DARMOIS Physique.
G. BRUHAT. . . . Physique.
H. MOUTON Chimie physique.

L. JOLEAUD Paléontologie.
M. JAVILLIER Chimie biologique.
A. DUFOUR Physique (P. C. N.).
F. PICARD. . . . Zoologie (Évolution des êtres organisés).
ROBERT-LÉVY Zoologie.
L. DUNOYER Optique appliquée.
A. GUILLIERMOND. . . Botanique (P. C. N.)
A. DEBIERNE. . . . Radioactivité.
M. FRÉCHET. . . . Calcul des probabilités et Physique mathém.

SECRÉTAIRE... A. PACAUD.



A mon Maître

M. CHARLES FABRY

Hommage respectueux.



Digitized by the Internet Archive
in 2026

LA DIFFUSION DE LA LUMIÈRE PAR LES SURFACES POLIES

par M. JEAN URBANEK

INTRODUCTION

Les lois de la diffusion de la lumière par les surfaces polies, les relations qui existent entre cette diffusion et le degré de polissage de la surface diffusante, l'importance de cette diffusion au point de vue de l'optique, la différence de pouvoir diffusant entre les corps amorphes et les corps cristallisés, la variation que subit la diffusion avec celles de la longueur d'onde constituent dans leurs grandes lignes les questions qu'il convient d'aborder au cours de cette étude. On pourrait en énumérer bien d'autres. Pourtant, le but du présent travail n'est pas d'épuiser tous ces problèmes. Il s'agit plutôt de donner une « vue d'ensemble » du phénomène de la diffusion de la lumière par les surfaces polies, d'énoncer des lois générales, en partie qualitatives seulement, en vue de caractériser d'une façon simple et pratique le degré de polissage d'une surface donnée. Saisir numériquement « le polissage » et indiquer l'allure des lois de diffusion qu'elle comporte, voilà le but principal de cette étude. Les phénomènes sont d'ailleurs si complexes, les expériences si compliquées et délicates qu'une étude détaillée de tous les phénomènes dépasserait de beaucoup en portée et en étendue le cadre du présent travail.

L'étude exacte des phénomènes de la diffusion de la lumière par les surfaces polies a nécessité la construction d'un appareil spécial. Cet instrument, établi sur mes indications dans les ateliers de l'« Institut d'Optique théorique et appliquée », est décrit dans le premier chapitre de cette étude. Un autre chapitre a été spécialement consacré (chap. II) à la méthode suivie au cours de ces essais; le but de celle-ci est de rendre les mesures plus faciles à réaliser et d'en diminuer la durée dans la mesure du possible. Ce procédé de rédaction permet d'exclure toute question de méthode de l'exposé des résultats, traités dans le chapitre III. Sans cette précaution, la clarté de cet exposé aurait pu être gravement compromise.

CHAPITRE I

DESCRIPTION DE L'APPAREIL

Il ne peut être question de procéder à l'étude de la diffusion de la lumière par les surfaces polies sans un appareil construit exprès dans ce but. C'est que les valeurs extrêmement faibles des intensités diffusées par les surfaces bien polies rendent absolument nécessaire d'éviter autant que possible toute lumière parasite.

Cette condition peut être satisfaite aussi bien en photométrie visuelle qu'en photométrie photographique. Au point de vue pratique, il y a cependant une différence considérable entre les deux méthodes. Étant donnée la longue série de mesures à faire, il convient d'adopter la méthode photographique, d'autant plus que l'appareil à construire gagne beaucoup en simplicité, tout en permettant de faire les mesures avec l'exactitude nécessaire.

La photométrie photographique a tous les avantages dans ce genre de mesures, c'est-à-dire travail relativement rapide et, certaines conditions satisfaites, exactitude égale quelle que soit la valeur de l'intensité. Son inconvénient est de faire intervenir des calculs (graphiques ou mathématiques) supplémentaires. Par contre, avec un appareil extrêmement simple, on peut réduire le réglage au minimum. On arrive aussi avec des moyens simples à éviter presque toute lumière parasite.

Dans cet ordre d'idées, j'ai construit un appareil photographique pour l'étude de la lumière diffusée par les surfaces polies dont voici le principe : dans une boîte de forme cylindrique se trouve l'échantillon, dans une position telle que la surface à essayer soit placée exactement dans l'axe du cylindre. Un faisceau mince de lumière parallèle tombe sur la surface de l'échantillon exactement à l'endroit de l'axe. Une pellicule photographique fixée sur la paroi du cylindre reçoit la lumière diffusée par la surface dans les différentes directions et donne ainsi pour un certain angle d'incidence la répartition angulaire de la diffusion. [J'appellerai les photogrammes ainsi obtenues des « diffusogrammes » ⁽¹⁾.]

La figure 1 représente l'appareil dans une section verticale et dans une section horizontale.

Le disque A en fonte d'aluminium forme avec un trépied massif en bois (qui n'est pas représenté sur la figure) la base, la partie fixe de l'appareil. Le cylindre B, portant une fente de 30 mm de hauteur ⁽²⁾ et d'environ

(1) Ce nom quelque peu bizarre n'a été adopté que pour remplacer la phrase assez longue qu'elle représente et qu'il aurait fallu répéter trop souvent dans le texte qui va suivre.

(2) Dans la plupart des cas, cette hauteur a été réduite à quelques millimètres, le reste étant masqué avec du papier noir.

50 cm de longueur et fixé au disque A, sert de support à la pellicule photographique. La pellicule est fixée contre la surface extérieure du cylindre au moyen d'un ruban en papier noir tendu à ses deux extrémités C. La partie libre de la pellicule permet de photographier dans un champ de plus de 180° . La partie supérieure du cylindre est renforcée pour rendre le « châssis » indéformable. Le plateau inférieur A et le plateau supérieur D

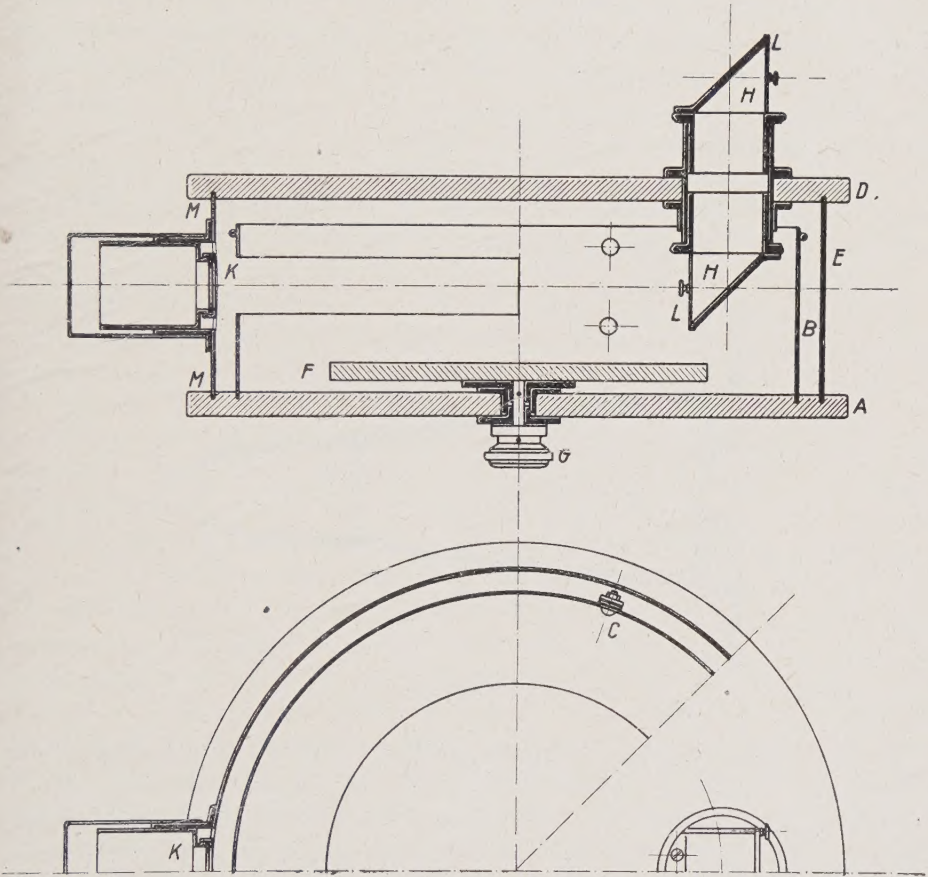


Fig. 1. — Appareil pour l'étude de la diffusion de la lumière par les surfaces polies.

forment avec le cylindre E une boîte fermée. L'échantillon à étudier (un cube de verre dans la plupart des cas) est placé sur le disque mobile F qu'on peut faire tourner autour de l'axe de l'appareil au moyen du bouton G. La lumière entre dans la boîte au moyen d'un système de prismes formé de deux prismes rectangles isoscèles H. Les deux prismes peuvent tourner autour de leur axe commun vertical. Le cylindre extérieur E est mobile par rapport aux plateaux inférieur A et supérieur D. Une ouver-

ture latérale, munie d'un écran gris neutre, qui porte un trait, gravé au milieu dans le sens vertical, sert pour le réglage K. Pour réaliser le parallélisme du faisceau incident on n'aurait qu'à utiliser, tout simplement, un collimateur comme d'habitude. Cependant, sans autres précautions, cela aurait l'inconvénient de laisser entrer dans l'appareil de la lumière parasite provenant de l'extérieur. Pour exclure tous les rayons autres que ceux provenant directement de la source, on délimite le faisceau par deux fentes, l'une à l'entrée et l'autre à la sortie du système de prismes. La seconde fente est la plus mince (leur hauteur commune est de 30 mm). Un écran supplémentaire fixé sur le porte-prisme inférieur du côté de la pellicule supprime toute lumière parasite provenant de la fente.

Ce dispositif suffit pour de fortes diffusions (surfaces presque mates); mais, pour de faibles valeurs de diffusion, il est insuffisant. Des expériences avec l'appareil décrit plus haut ont montré que même la diffusion aux bords

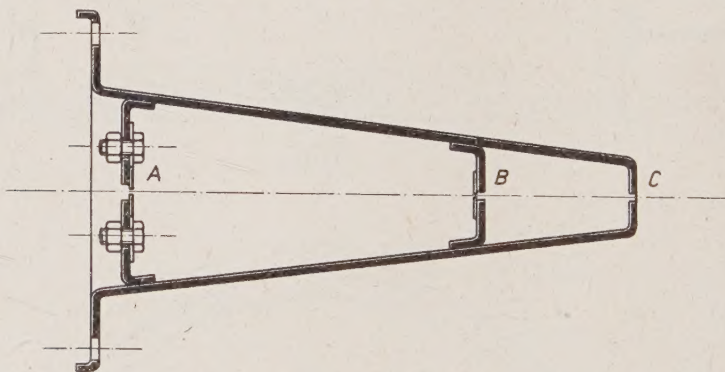


Fig. 2. — Système de fentes.

de la fente était gênante. L'éclairement diffusé à l'intérieur du porte-prisme n'était pas non plus négligeable. Il était donc impossible de réaliser un faisceau mince bien déterminé. Pour éviter ces inconvénients, le diaphragme inférieur L a été remplacé par un système de diaphragmes représenté sur la figure 2. Ce système comporte trois fentes. Le diaphragme d'entrée A, dont la largeur est variable, et le diaphragme mince B délimitent le faisceau supposé légèrement divergent. La troisième fente sert à cacher la seconde. On règle la largeur de la première fente A de façon que le faisceau, après avoir traversé les deux fentes, soit plus mince que la troisième fente. On arrive ainsi à réaliser une fente dont les bords ne diffusent pas C. La diffusion intérieure entre B et C est sensiblement nulle. La troisième fente C a encore l'avantage de servir d'écran pour les phénomènes de diffraction qu'entraîne l'emploi de la fente mince B et qui se trouvent être réduits dans le voisinage immédiat du faisceau à une bande de 5 mm environ sur

la pellicule. Grâce à ce système de fentes, le parallélisme du faisceau incident est pratiquement réalisé, puisqu'il ne laisse passer que des rayons situés dans un plan déterminé. Il est vrai que dans ce plan même les rayons ne sont pas rigoureusement parallèles, s'ils ne l'étaient pas auparavant, mais l'influence de cette circonstance peut être éliminée comme nous le verrons dans la suite (voir p. 16). De façon que, pour avoir plus de lumière, il est même préférable de faire converger légèrement les rayons qui vont tomber sur l'appareil ou bien de projeter l'image du filament de la lampe sur la fente d'entrée au moyen d'une lentille cylindrique placée après un collimateur.

La position relative du système optique extérieur à la fente d'entrée de l'appareil reste la même pendant toute la série de mesures à comparer.

Chacun des disques A et D porte deux traits situés diamétralement, qui servent de points de repère. Le disque fixe, inférieur, est toujours dans une position telle que son diamètre de repérage soit perpendiculaire à la direction des rayons incidents. Le cylindre mobile E est muni de deux échelles M pour permettre de déterminer sa position par rapport aux disques A et D. Le point zéro des échelles se trouve dans l'axe de symétrie du regard K.

Pour avoir un diffusogramme qui corresponde à un angle d'incidence de 45° par exemple, on procède de la façon suivante: on tourne le cylindre E jusqu'à ce que le point zéro de l'échelle inférieure coïncide avec le trait de repérage du disque inférieur. L'axe du regard est alors exactement dans la direction du rayon régulièrement réfléchi (90° sur la direction de la lumière incidente). On porte au moyen de l'échelle supérieure le diamètre repéré du disque supérieur dans la position perpendiculaire au diamètre repéré du disque inférieur, c'est-à-dire dans la direction des rayons incidents. Enfin, on tourne au moyen du bouton G l'échantillon dont la surface à essayer se trouve exactement dans l'axe de l'appareil, jusqu'à ce qu'on puisse voir coïncider le trait vertical de la lumière régulièrement réfléchie avec le trait de repère du regard. On note la position des deux échelles, on enlève le cylindre E et le couvercle D, on charge le châssis et l'on referme la boîte en ayant soin de replacer les traits aux positions des échelles marquées auparavant. Naturellement, avant d'allumer la source, le regard K et le diaphragme d'entrée L sont fermés; le premier reste fermé pendant toute l'expérience. Le réglage et la manœuvre de l'appareil sont donc relativement simples sans entraîner cependant des erreurs de mesures sensibles.

L'erreur de réglage a d'ailleurs deux origines :

1^o Erreur de pointage : quand on fait coïncider le trait du regard avec le trait lumineux de la lumière régulièrement réfléchie.

2^o Le déplacement de l'échantillon qui peut se produire quand on charge le châssis et referme la boîte. Pour cette raison, le réglage a été contrôlé

après chaque exposition. Quand le défaut de coïncidence des deux traits dépassait 0 mm, 5, l'expérience a été renouvelée.

Comme ce déplacement, bien que faible, peut se produire quand même, l'erreur de pointage n'a pas d'importance. A 1 degré correspondent 2 mm, 6 sur la pellicule. L'erreur sur l'angle de réflexion était donc au maximum d'environ 12', ce qui correspond à une erreur de 6' sur l'angle d'incidence.

CHAPITRE II

LA MÉTHODE SUIVIE. — CONDITIONS DES EXPÉRIENCES. ERREURS. — CONTRÔLE.

La figure 3 représente l'ensemble du dispositif destiné à l'étude de la diffusion de la lumière par les surfaces polies. Ce dispositif comprend, comme on vient de le dire, outre l'appareil décrit, un collimateur et une lentille cylindrique qui projettent l'image de la lampe sur la fente d'entrée. La source

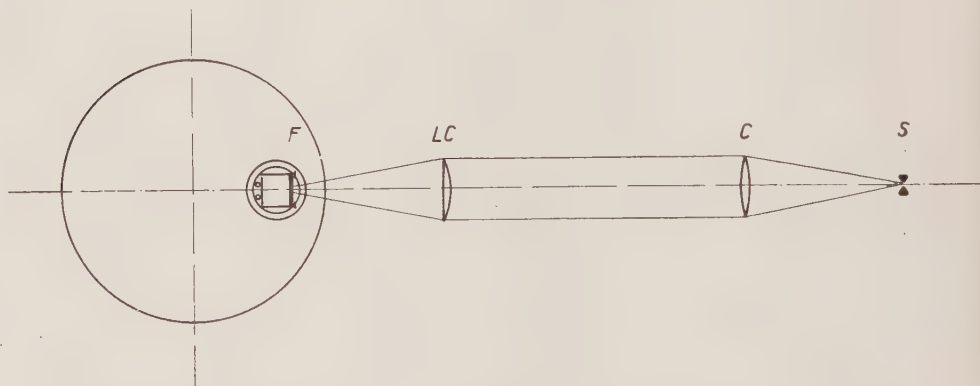


Fig. 3. — Ensemble du dispositif.

F, fente d'entrée de l'appareil; L C, lentille cylindrique; C, collimateur; S, source.

employée au cours de la plupart des expériences a été une lampe à filament de tungstène de 1 000 watts. Il était nécessaire d'utiliser une lampe aussi puissante pour avoir des temps de pose relativement courts, même pour les surfaces très bien polies.

Tout d'abord il a été envisagé de faire tous les essais en lumière monochromatique, notamment avec les radiations de $\lambda_1 = 4\,360\text{ Å}$ et $\lambda_2 = 3\,600\text{ Å}$ de longueur d'onde (1). Pour une surface légèrement mate, on obtient ainsi de bons résultats avec des temps de pose de quelques heures. Pour une surface polie proprement dite, l'intensité fournie par une lampe

(1) Ces radiations sont, comme il est bien connu, faciles à isoler de la lumière complexe d'un

en quartz sous forme de lumière monochromatique est loin d'être suffisante. Une pellicule exposée pendant vingt-quatre heures à la diffusion d'un échantillon de crown très bien poli n'a donné en lumière indigo d'une lampe en quartz que la tache centrale qui correspond à la lumière régulièrement réfléchie. Les bords de la tache étaient voilés, mais à peine au-dessus du seuil de la pellicule. Il fallait donc renoncer à l'emploi de la lumière monochromatique d'une manière générale pour le réserver exclusivement à l'étude de l'influence de la longueur d'onde sur la diffusion de la lumière par les surfaces polies.

Pour pouvoir ramener les différentes épreuves à la même intensité incidente, il est nécessaire de connaître l'éclairement de la surface de l'échantillon. On y arrive aisément en photographiant, sur chaque pellicule, la diffusion d'une surface de plâtre éclairée à travers le même système de fentes et avec la même source, placée à la même distance que pour les autres diffusogrammes de la pellicule en question. La surface de plâtre est placée dans l'axe de l'appareil, comme les surfaces polies à essayer. La direction de la normale à la surface occupe toujours la même position par rapport à la lumière incidente. Bref, les diffusogrammes du plâtre sont pris toujours dans les mêmes conditions. Pour pouvoir régler commodément l'angle d'incidence à la surface du plâtre, cette dernière a été préparée de façon qu'il y ait à sa surface une faible réflexion vitreuse. Le réglage pouvait se faire alors de la même façon qu'avec les surfaces polies ⁽¹⁾.

On réalise donc avec le plâtre un « diffusogramme de comparaison » pour ainsi dire, très pratique à tous les points de vue pour ramener les résultats à la même intensité incidente.

En connaissant le facteur de réflexion diffuse φ_n du plâtre, dans la direction normale à sa surface ($\varphi_n = 0,93$ pour l'échantillon utilisé), on peut calculer d'après les données des expériences l'intensité incidente :

$$I_i = \frac{d^2 \pi}{S} \cdot I_{pn} \frac{1}{\varphi_n} = C^{te} I_{pn}$$

où d est la distance de la source à la surface, S l'aire éclairée de cette dernière, I_{pn} l'intensité diffusée du plâtre dans la direction normale. On en déduit aisément l'éclairement de la surface à essayer, ainsi que le flux incident :

$$\varepsilon = \frac{\pi}{S} I_{pn} \frac{1}{\varphi_n}$$

$$\Phi_i = \pi I_{pn} \frac{1}{\varphi_n}$$

arc à vapeur de mercure. Avec une cuve de sulfate acide de quinine et une cuve de sulfate de cuivre ammoniacal on isole la première, avec un verre de Wood la seconde.

(1) Pour donner à la surface du plâtre une faible réflexion vitreuse, il suffit de presser la pâte à l'état humide contre une surface de verre polie et de le laisser sécher dans ces conditions.

En réalité, pour un temps de pose donné, c'est l'éclairement (E_p pour le plâtre) qui détermine l'impression sur la pellicule. Mais le châssis étant circulaire, l'éclairement de la pellicule en un point déterminé ne diffère de l'intensité diffusée I_d dans la direction en question que par un facteur constant qui reste le même pour tous les diffusogrammes, y compris ceux du plâtre I. Le facteur qui s'introduit de cette façon dans les calculs ne joue aucun rôle dans l'interprétation des résultats. Cela découle immédiatement de la nature de l'échelle des diagrammes exposée page 22.

Il y a un autre avantage que présente l'emploi du plâtre comme diffusogramme de comparaison. Cet avantage relève du domaine de la sensitométrie. Pour évaluer les intensités, il faut posséder une courbe de sensitométrie photographique pour chaque pellicule. Pour obtenir cette courbe, il faut connaître en général l'éclairement de la plaque pendant l'exposition dans l'appareil sensitométrique (disque Scheiner par exemple). Avec l'emploi du plâtre comme diffusogramme de comparaison, cela n'est plus nécessaire. En effet, si le diffusogramme du plâtre et le photogramme de sensitométrie sont faits sur des pellicules de la même bobine et ensuite développés en même temps, dans la même cuvette, la densité causée par la diffusion du plâtre dans une direction déterminée nous fournit un point de la courbe sensitométrique qui correspond à l'éclairement du plâtre (l'intensité correspondante étant : I_p).

Supposons, par exemple, qu'on ait fait deux essais dans des circonstances exactement les mêmes, photographiés sur deux pellicules différentes. Sur chaque pellicule il y a deux diffusogrammes (dont l'un est celui du plâtre) et un photogramme de sensitométrie à temps de poses gradués. Les temps de pose des diffusogrammes sont égaux. Les temps de développement sont différents. On obtient deux courbes sensitométriques différentes. De même, les diffusogrammes de l'une des pellicules seront plus contrastés que celles de l'autre. Pour ramener les résultats à la même intensité incidente, on procède de la façon suivante : On trace les deux courbes sensitométriques (les échelles de $\log I$ ⁽¹⁾ et de la densité sont naturellement les mêmes pour les deux courbes) et l'on marque sur chaque courbe le point qui correspond à la densité due à la diffusion du plâtre. Ensuite on trace les deux courbes sur une même feuille millimétrique de façon que ces deux points soient sur la même verticale (la verticale de $\log I_p = C^v$). On a réalisé ainsi un abaque qui peut servir pour le calcul graphique des intensités correspondant aux densités des différents points de la pellicule. Dans notre exemple, les deux diffusogrammes photographiés dans les mêmes conditions sur deux pellicules différentes doivent donner des résul-

(1) Ici encore, il est permis de choisir comme échelle les logarithmes des intensités ($\log I$) au lieu des logarithmes des éclairages ($\log E$) comme d'habitude, puisque, comme nous allons le voir, ce ne sont que les valeurs relatives qui entrent dans le calcul.

tats identiques. Les résultats resteraient encore identiques si l'on changeait les conditions d'expérience d'une des pellicules en question (la valeur de l'intensité de la lumière incidente par exemple). Le procédé pour évaluer les intensités resterait aussi le même. Seulement, la position relative des deux courbes sensitométriques sur l'abaque serait changée.

D'après cet exemple, il est évident qu'il est inutile de connaître l'éclairement du disque Scheiner. Cela raccourcit encore la durée d'une expérience. On voit donc que, avec l'emploi du plâtre comme unité, on réduit aisément les diverses épreuves à la même intensité incidente sans avoir affaire nulle part directement à l'intensité de la source. La seule condition qui reste : la constance des conditions d'expérience pendant l'exposition d'une pellicule, est facile à satisfaire.

L'intervalle d'intensité que présente l'étude de la diffusion de la lumière par les surfaces polies est très étendu (les expériences allaient environ de $10 P$ à $P/1000$ (1); leur rapport est donc de 10^4). Le rapport des intensités évaluables par photométrie photographique, sur la base d'une pellicule, est limité (environ $1/300$). C'est pourquoi le dispositif doit être changé s'il s'agit de la comparaison de la diffusion de deux surfaces dont le degré de polissage diffère beaucoup (surface légèrement mate, par exemple, et surface polie, comme il est courant pour les instruments d'optique). Une solution serait de prendre des temps de pose différents dans les deux cas et d'évaluer par le calcul la différence qui en résulte. Le degré de précision ainsi obtenu laisserait pourtant beaucoup à désirer. Il vaut mieux échapper complètement à l'influence des temps de pose. Pour pouvoir prendre des temps de pose égaux pour tous les diffusogrammes, il est nécessaire que la source soit assez intense pour qu'on puisse examiner les surfaces les plus polies avec des temps de pose relativement courts. Avec la lampe à filament de tungstène de 1 000 watts et le système optique utilisé, le temps de pose a pu être réduit à 1 heure. C'est seulement pour les mesures en lumière monochromatique (lampe en quartz) qu'il a été de 4 heures.

Pour pouvoir conserver le même temps de pose (1 heure) aux intensités croissantes de diffusion dues aux surfaces de moins en moins polies, l'intensité de la lumière incidente était affaiblie au moyen d'écrans gris-neutre dont les densités étaient connues. Les densités des écrans choisis étaient telles que les densités en question des différents diffusogrammes soient exactement évaluables au moyen de la courbe sensitométrique. On utilisait même des écrans différents pour une même pellicule. Dans ce cas, on traçait sur l'abaque densité- $\log I$ la courbe sensitométrique de la pellicule autant de fois que des écrans différents étaient employés. La distance dans le sens des abscisses ($\log I$) entre les courbes sensitométriques était déter-

(1) Pour la signification de ces quantités, voir p. 22.

minée par la différence des densités des écrans mesurés en unités de l'abscisse. Cette méthode revient pratiquement au même que si l'on possédait des pellicules susceptibles de mettre en évidence des rapports d'intensités beaucoup plus considérables que ce qu'elles peuvent faire en réalité. L'inconvénient de cette méthode est qu'on doit travailler avec des temps de pose plus longs qu'il ne serait nécessaire si l'on n'employait pas des écrans. C'est pourquoi il était nécessaire d'employer une source puissante.

Les pellicules utilisées pendant les expériences étaient les pellicules Pathé (6×9). La largeur d'un diffusogramme était de 6 mm environ, le reste de l'ouverture (de 30 mm de hauteur) étant masqué avec du papier noir. On pouvait donc prendre six diffusogrammes sur la même pellicule (voir encore p. 17). Les deux bouts coupés de la même pellicule étaient réservés pour la sensitométrie dans le but de s'assurer de l'uniformité de l'émulsion d'une part et du développement d'autre part. S'il se présentait des différences, l'expérience était refaite. En général, les deux courbes sensitométriques étaient en bon accord. Pour réaliser des conditions égales de développement, les pellicules recollées avec les parties coupées étaient développées dans une cuve de bois de 70 cm de longueur et de 8 cm de largeur. Le révélateur était agité. Les temps de développement étaient de 7 à 8 minutes pour un révélateur normal. Ainsi, les différences des temps de développement qui résultent de ce que la pellicule ne peut pas être mise dans la cuve et enlevée de la cuve exactement dans le même temps dans toute sa longueur n'ont pas d'importance considérable. En outre, le contraste de la pellicule est augmenté avec un temps de développement prolongé. L'égalité des temps de développement n'est pas théoriquement nécessaire. En pratique, même contraste veut dire même précision. C'est pourquoi le temps de développement des différentes pellicules était à peu près le même.

Pour les mêmes raisons qui ont été exposées plus haut, le temps d'exposition des photogrammes sensitométriques était à peu près le même. La source utilisée était la même que pour les diffusogrammes.

Quand il s'agit de lumière monochromatique, on doit prendre en considération la variation du facteur de développement de la pellicule avec la longueur d'onde. On doit donc construire une courbe sensitométrique pour chaque longueur d'onde. Pour obtenir la séparation des radiations, on s'est servi du spectrographe Féry.

On sait qu'on peut obtenir avec ce spectrographe six prises sur la même pellicule ou plaque. On n'a donc qu'à prendre des temps de pose en progression géométrique pour obtenir une courbe sensitométrique. Les résultats ainsi obtenus ne sont pas utilisables tels quels. C'est que, à temps de pose égaux, les six spectrogrammes fournis par le spectrographe Féry ne sont pas identiques. Il y a une différence dans les densités ainsi obtenues.

Pour éliminer cette source d'erreur, il a été fait deux séries de spectrogrammes : une avec des temps de pose en progression géométrique, l'autre avec des temps de pose égaux. La courbe sensitométrique corrigée d'après ces résultats peut déjà servir de base pour les calculs. Cette correction doit être faite pour chaque courbe sensitométrique, correspondant à une longueur d'onde donnée.

Ici encore on voit l'avantage que présente l'emploi de la diffusion du plâtre comme unité relative. Le rapport de l'intensité diffusée du plâtre avec l'intensité de la lumière incidente ne varie pas selon la longueur d'onde (au moins dans un certain intervalle déterminé). La construction de l'abaque pour le calcul des intensités, dont il a été question page 12, ne rend pas nécessaire la connaissance de la valeur absolue de l'intensité incidente. On n'a qu'à placer les deux « points du plâtre » des deux courbes sensitométriques (tracées pour les différentes longueurs d'onde) dans la même verticale. Cette condition satisfaite, on a éliminé l'influence de l'intensité différente que présentent les radiations de différentes longueurs d'onde émises par l'arc à vapeur de mercure. Tout cela par la simple raison qu'égal diffusion de plâtre veut dire égale intensité de la lumière incidente. L'intensité incidente au spectrographe Féry peut être ainsi choisie de façon que les densités correspondantes soient de même ordre de grandeur que les densités des diffusogrammes à faire.

A titre d'exemple et pour résumer un peu ce qui a été dit, je vais décrire l'expérience la plus compliquée dont les résultats sont représentés sur la figure 13. Cet essai a porté sur l'influence de la longueur d'onde sur la diffusion de la lumière par les surfaces polies. Les longueurs d'onde choisies étaient $\lambda_1 = 4360 \text{ \AA}$ dans la région visible et $\lambda_2 = 3600 \text{ \AA}$ dans l'ultra-violet, parce que leur isolement du spectre de l'arc à vapeur de mercure est très simple (voir p. 10). Les données de l'arc utilisé étaient 80 volts, 3 ampères. La tension aux bornes était tenue constante. L'appareil était réglé à 45° d'angle d'incidence. L'échantillon était une surface de crown, la moins polie de celles dont je disposais (visiblement mate, polie au rouge d'Angleterre). Ont été faits : un diffusogramme de l'échantillon et un diffusogramme de comparaison du plâtre pour les deux longueurs d'onde. En tout, quatre diffusogrammes. Cela nécessitait environ 30 cm de pellicule. Le reste de la pellicule était coupé en six parties, dont deux pour les spectrogrammes Féry à temps de pose en progression géométrique, deux pour les spectrogrammes à temps de pose égaux, enfin deux pour des photogrammes directs de la lumière incidente à l'intérieur de l'appareil. Ces derniers photogrammes ont été pris pour avoir un point de contrôle dans la construction de l'abaque pour le calcul des intensités, qui soit indépendant de la détermination des courbes sensitométriques. En effet, si ces courbes sont justes, alors, après avoir ramené leurs « points de plâtre » dans la même verticale (I_p), les deux

points qui correspondent sur les deux courbes à la densité due à la lumière incidente directe (I_i) doivent se trouver eux aussi dans la même verticale. C'est que le rapport de la lumière incidente et de la lumière diffusée par le plâtre est constant; la distance mesurée sur l'abscisse ($\log I_i - \log I_p$) doit donc être aussi la même pour les deux points correspondants. Dans la pellicule en question, cette concordance était très bien vérifiée, d'où l'on peut conclure à l'exactitude des procédés et des mesures sensitométriques. Les morceaux de la pellicule étaient ensuite recollés et développés ensemble dans la cuve. Les densités ont été mesurées au microphotomètre Fabry-Buisson. D'après la méthode qui a été indiquée plus haut, on trace l'abaque, d'où l'on obtient par voie graphique les valeurs de l'intensité diffusée dans les différents angles. C'est ce résultat final qui est représenté sur la figure 13.

Dans le chapitre précédent il a été question des erreurs de réglage. La méthode suivie que je viens d'exposer peut comporter aussi dans les différentes phases de son application des sources d'erreurs plus ou moins importantes. Il y en a deux qui peuvent fausser complètement les résultats si l'on ne prend pas soin de les éviter. A savoir : éclairément non uniforme de la fente dans toute sa longueur et lumière parasite réfléchie et diffusée à l'intérieur de l'appareil.

Supposons, en effet, la fente éclairée seulement dans la moitié supérieure de sa hauteur (l'expérience a été réalisée) et examinons l'influence de cette circonstance sur les diffusogrammes qu'elle donne. La hauteur libre du châssis circulaire est de 30 mm. Nous utiliserons, cette fois, toute cette hauteur pour prendre le diffusogramme (et non 6 mm comme au cours des essais définitifs). Le diffusogramme du plâtre ainsi reçu présente une densité presque uniforme dans toute sa hauteur. Le diffusogramme du verre par contre présente une densité uniforme en hauteur seulement dans sa moitié supérieure; à partir d'une certaine hauteur, les densités commencent à décroître. Les mesures microphotométriques faites dans cette partie du diffusogramme seraient donc complètement fausses et incommensurables avec la densité du plâtre. Il est donc nécessaire que l'éclairément de la fente soit uniforme. L'image du filament d'une lampe à incandescence projetée sur la fente présente toujours (même agrandie) des différences d'éclairément. Ces différences ne sont pas d'ailleurs très gênantes. Cependant, pour les éviter, on n'a qu'à faire les mesures microphotométriques toujours dans la même section de l'appareil, c'est-à-dire dans la même hauteur de la pellicule. Les valeurs relatives à la diffusion du plâtre seront alors exactes et comparables. Dans des mesures relatives (et c'est cela qui nous intéresse), l'erreur est complètement éliminée, de même que l'influence éventuelle d'une légère convergence du faisceau incident. S'il faut faire les mesures microphotométriques toujours dans la même hauteur relative à l'appareil, la hauteur libre du châssis circulaire peut être réduite à quelques millimètres.

La hauteur choisie était de 6 mm, ce qui permettait de prendre six diffusogrammes sur la même pellicule en la déplaçant dans le sens vertical. C'est là une raison de plus pour adopter cette correction. Dans la série de mesures en lumière blanche, c'est surtout pour cette dernière raison que ce dispositif a été adopté, parce que dans ce cas la non-uniformité de l'éclairement de la fente n'était pas gênante, malgré l'extrême simplicité de l'appareil ⁽¹⁾. En lumière monochromatique cette précaution était absolument nécessaire. La lampe en quartz dont je disposais ne permettait pas de réaliser un éclairement uniforme et intense à la fois dans toute la hauteur de la fente.

L'élimination de cette source d'erreurs est donc très simple.

Les erreurs qui peuvent résulter de la lumière diffusée et réfléchie à l'intérieur de l'appareil sont de nature beaucoup plus complexe. On peut diminuer considérablement leur importance, mais leur élimination complète est impossible.

Dans le chapitre précédent nous avons vu comment la lumière parasite provenant du côté de la source a pu être éliminée au moyen du système de diaphragmes. Voyons maintenant ce qui se passe à l'intérieur de l'appareil.

Pour avoir des diffusogrammes exacts, il faut que toute lumière qui atteint la pellicule provienne uniquement de la surface dont on prend le diffusogramme. Il faut donc éliminer toute lumière parasite provenant des autres surfaces de l'échantillon ⁽²⁾. Cette condition a été réalisée de la façon suivante. Toutes les surfaces de l'échantillon ont été noircies à l'exception de la surface à essayer. Pour pouvoir faire absorber la lumière réfractée qui tombe sur une certaine surface de l'échantillon du côté verre, l'indice du vernis était à peu près égal à l'indice de l'échantillon. Pour le crown et le quartz, le vernis était composé de térébenthine de Venise et de noir de fumée. Pour le flint, la térébenthine était remplacée par de la bromonaphtaline. La lumière réfléchie sur une telle surface disparaît presque complètement. Comme il y avait au moins deux réflexions à l'intérieur de l'échantillon, la lumière réfléchie parasite peut être pratiquement considérée comme éliminée complètement. Une tache lumineuse est pourtant visible à l'endroit

(1) Avec un appareil de précision dont les fentes sont exactement taillées et avec l'emploi d'une fente de dimensions plus réduites, on pourrait réaliser un éclairement parfaitement uniforme de la surface.

(2) Il y a encore d'autres moyens d'éliminer la lumière parasite que celui que je vais décrire. Par exemple : l'échantillon est un verre très absorbant, la lumière réfractée n'atteint pas la surface de sortie. Cette solution est à rejeter puisque ce ne serait qu'un exemple intéressant de la diffusion sans qu'on puisse en tirer des conséquences générales. Un autre moyen consiste à employer une lame mince de verre comme échantillon en absorbant la lumière qui sort de la surface postérieure par un fond noir. Cette solution, elle aussi, n'est pas bonne. Sans compter qu'il s'agit ici de la diffusion simultanée de deux surfaces, l'éclairement des deux surfaces ne se fait pas de la même façon. La surface antérieure reçoit la lumière du côté air, la surface postérieure du côté verre.

où la lumière réfractée tombe la première fois sur une surface noircie. C'est l'effet de la diffusion du noir de fumée contenu dans le vernis. Pour s'assurer que cette tache ne soit pas visible du côté de la pellicule, l'échantillon (un cube de verre) a été placé de façon que la lumière incidente tombe sur sa surface près d'une arête verticale (c'est-à-dire que la mince tache verticale diffusante se trouve à 5 mm par exemple de l'arête). On réalise ainsi un champ libre d'un angle à peu près égal à l'angle que fait la surface à essayer avec la surface latérale d'arête commune. Un angle de 90° suffit d'ailleurs (un cube par exemple) pour la mise en évidence des lois de la diffusion par les surfaces polies, étant donné que l'intensité diffusée dans le champ ainsi négligé est si faible que l'évaluation exacte de sa valeur n'est plus possible par des raisons que je traiterai dans la suite ⁽¹⁾.

L'échantillon ainsi placé, il reste encore un très faible éclaircissement à son intérieur (et visible du côté de la pellicule) dû à la présence de la tache de diffusion du vernis, qui ne peut pas être éliminée.

Quant à la diffusion massique, elle est négligeable par rapport à la diffusion superficielle. L'œil reposé n'aperçoit pas le trajet lumineux (certainement présent d'ailleurs) à l'intérieur de l'échantillon, tandis que la tache diffusante de la surface reste nettement visible même aux polissages couramment utilisés. Pour s'assurer quand même que la diffusion due à la masse n'entraînait pas d'erreurs sensibles, une expérience a été faite exprès dans ce but. Un écran opaque, convenablement placé entre la tache diffusante et la pellicule, permettait de photographier la diffusion massique due au rayon réfracté (et vue du côté de la surface diffusante), tout en évitant toute lumière provenant de la surface. L'expérience était arrangée de façon que la diffusion à l'intérieur du verre pouvait être photographiée en même temps à travers une autre face du cube que celle soumise à l'essai et qui n'était enduite de vernis absorbant qu'en partie, en vue d'éliminer la diffusion superficielle due aux rayons incident et réfracté.

L'expérience, réalisée dans les mêmes conditions que pour les autres diffusogrammes, a montré que la diffusion massique n'arrivait même pas à produire une impression sur la pellicule pendant le temps de pose adopté de 1 heure.

(1) On peut réaliser un « angle utile » de 180° en noircissant aussi la surface à essayer, à l'exception d'une strie mince verticale qui reçoit la lumière de la fente. Ce dispositif a été adopté en réalité au cours des premiers essais (surfaces presque mates); il devait être abandonné dans l'étude des surfaces polies proprement dites à cause de la diffusion gênante du vernis qui se trouvait sur la surface à essayer, surtout quand l'angle d'incidence avait une grande valeur. Comme la diffusion du vernis est beaucoup plus considérable que la diffusion des surfaces très bien polies, sa présence fausserait complètement les résultats. Il en est ainsi dans les directions qui font un grand angle avec la direction de la lumière régulièrement réfléchie où la diffusion de la surface polie est minime, la diffusion du vernis par contre considérable.

On peut donc dire en définitive que la diffusion par la masse n'influe pas sensiblement sur les résultats des essais.

Il y a encore une source de diffusion qui ne peut pas être éliminée ni saisie par le calcul. Il ne reste donc qu'à indiquer la limite inférieure des intensités diffusées évaluables avec une précision suffisante et l'influence de sa présence sur les diffusogrammes en général pour pouvoir interpréter d'une façon correcte les résultats qu'elles donnent.

C'est de la diffusion de la pellicule qu'il s'agit. Comme le châssis est circulaire, la lumière diffusée par un certain point de la pellicule peut atteindre d'autres points de la pellicule. Il y a sur chaque diffusogramme une tache très dense (de 5 mm de largeur environ) qui correspond à la lumière régulièrement réfléchiée et à la réflexion des quelques franges de diffraction que la dernière fente laisse passer. Le système de fentes ne peut pas masquer, en effet, complètement la lumière diffractée si l'on veut que les bords de la dernière fente ne diffusent pas sensiblement. C'est surtout cette tache, dont l'éclairement est très intense, qui diffuse d'une manière considérable. S'il s'agit de surfaces bien polies, la diffusion de cette région est prépondérante. En outre, cette diffusion éclaire — quoique d'une façon très faible — tout l'intérieur de la boîte. Le résultat est qu'à des éclairagements très intenses, qui sont nécessaires pour l'étude des surfaces très polies, la pellicule est voilée même aux endroits où elle ne reçoit pas de lumière directe. Pour mettre en évidence les différences de densité qui peuvent résulter de cette circonstance sur les diffusogrammes, deux diffusogrammes ont été pris dans des circonstances exactement les mêmes sur la même pellicule. Le premier était pris comme d'habitude, le second en recouvrant la région de la pellicule qui recevait la lumière régulièrement réfléchiée avec du papier noir. La comparaison des diffusogrammes ainsi reçus montre que, comme il était à prévoir, la diffusion de la pellicule change très peu les résultats dans le voisinage de la tache lumineuse, pour faire varier les densités au fur et à mesure qu'on s'éloigne de la direction de la lumière directement réfléchiée. Dans un angle de $\pm 8^\circ$ environ (pour l'échantillon le plus poli) les densités restent sensiblement les mêmes. Dans l'essai des surfaces de moins en moins polies, l'influence de la diffusion de la pellicule disparaît complètement, puisque sa valeur absolue reste à peu près la même.

Cette étude porte dans sa plus grande partie sur la comparaison des phénomènes de diffusion que présentent les surfaces de polissages différents. Étant donné que les résultats sont rapportés à la même intensité incidente, l'erreur qu'entraîne la diffusion parasite non éliminable de l'intérieur de l'échantillon et de la pellicule est la même pour un certain angle d'incidence donné. C'est pourquoi la comparaison entre diffusogrammes sera faite entre ceux qui correspondent aux mêmes angles d'incidence. Ces erreurs restent d'ailleurs au-dessous des erreurs de mesures à partir de l'intensité de la

valeur relative $P/100$. (Pour la signification de cette quantité, voir page 22).

Il reste à parler des erreurs de photométrie photographique. Pour l'uniformité de formation de l'image latente, toutes les pellicules (y compris les photogrammes de sensitométrie) ont été développées deux jours après la dernière exposition. Les densités étaient mesurées au microphotomètre Fabry et Buisson. L'exactitude des mesures microphotométriques peut être évaluée à 2 % sur la densité. Chaque valeur adoptée est la moyenne arithmétique d'au moins deux lectures. L'exactitude était inférieure avec les spectrogrammes Féry, à cause de la largeur limitée des raies, ce qui rend pénibles les mesures microphotométriques. L'exactitude du microphotomètre est d'ailleurs plus que suffisante. C'est que les surfaces un peu mates donnent des courbes très nettement définies. En traçant la courbe, on élimine par interpolation graphique les écarts qui se présentent. Pour les surfaces bien polies, par contre, les courbes sont si irrégulières que les erreurs de mesure des densités n'ont pas d'importance. L'allure de la courbe reste tout de même bien déterminée (il sera question de ces irrégularités dans le chapitre suivant).

Pour finir, je veux mentionner un moyen simple pour contrôler à la fois les diffusogrammes et les courbes sensitométriques. En effet, si parmi les diffusogrammes de deux pellicules différentes on en a deux qui ont été pris sur la même surface et dans les mêmes conditions, on peut tracer par un simple procédé graphique la courbe sensitométrique de l'un d'entre eux en connaissant celle de l'autre. La courbe sensitométrique ainsi établie doit coïncider avec celle qu'on a obtenue par le procédé direct. Avec la construction inverse, on peut contrôler le diffusogramme. On peut contrôler de même la valeur obtenue pour la diffusion du plâtre. Cette méthode de contrôle a été largement utilisée. S'il n'y avait pas de diffusogrammes pris dans les mêmes conditions sur certaines pellicules, des diffusogrammes de contrôle ont été faits exprès dans ce but. Ce contrôle n'est pas applicable cependant aux surfaces très bien polies, à cause des différences considérables qui existent dans ce cas entre les diffusogrammes pris dans les mêmes conditions. La nature et la cause de ces différences seront traitées dans le chapitre suivant.

CHAPITRE III

LES EXPÉRIENCES — DISCUSSION DES RÉSULTATS

Les échantillons.

Nous avons vu dans les chapitres précédents la description détaillée de l'ensemble du dispositif destiné à l'étude de la lumière diffusée par les surfaces polies et la méthode qui a été suivie au cours des essais, en même temps que les erreurs de mesure qu'elle fait entrer dans les résultats.

Avant de procéder à un examen détaillé des résultats, il faut décrire d'abord de plus près les échantillons sur lesquels portait l'étude pour traiter ensuite les différents points de vue auxquels ils ont été étudiés. Il sera utile, en outre, de dire quelques mots sur l'échelle des diagrammes.

Nous avons vu que l'« angle utile » (voir p. 18), c'est-à-dire l'angle dans lequel l'effet de la lumière parasite est négligeable, est à peu près égal à l'angle des deux surfaces près de l'arête commune desquelles tombe la lumière incidente sur la surface à essayer. Comme il y a plusieurs surfaces à essayer sur le même échantillon, la forme cubique est la plus pratique qu'on puisse lui donner. L'angle utile est alors de 90° environ pour toutes les surfaces. C'est ce qui a été fait pour le crown et le flint. Le cube en flint était de 60 mm de côté, celui en crown de 80 mm. La « hauteur utile » (hauteur égale à la hauteur de la fente) n'est que de 30 mm. Une hauteur d'au moins 60 mm est cependant nécessaire pour des raisons d'ordre pratique. Il est en outre nécessaire que la hauteur utile elle-même soit relativement grande, pour deux raisons. D'une part, la largeur de la fente doit être minime pour pouvoir éviter complètement la lumière parasite. D'autre part, on profite de tous les moyens permettant d'augmenter l'intensité diffusée. On augmente donc l'intensité émise par la tache diffusante en donnant à la fente une dimension relativement grande dans le sens vertical. Il faut aussi tenir compte de ce que les phénomènes de diffusion par les surfaces polies sont de caractère très irrégulier quand le polissage est poussé loin. Pour avoir une courbe de diffusion « statistique » pour ainsi dire, il faut réaliser une tache diffusante d'une certaine dimension. La courbe de diffusion ainsi obtenue caractérise mieux la surface. C'est que la diffusion d'une surface très réduite varie beaucoup d'un point à l'autre de la surface. Les différences sont d'autant plus accentuées que la tache éclairée est plus réduite. Il y a donc intérêt à utiliser des fentes de dimensions relativement grandes.

Pour le quartz, il fallait faire abstraction des conditions d'ordre pratique qui exigent une hauteur d'au moins 60 mm de l'échantillon pour l'appareil utilisé. Il ne pouvait être question de faire faire exprès un échantillon de telles dimensions. Il fallait se contenter d'un prisme en quartz de 30 mm

de hauteur environ qui était à ma disposition et photographeur près des arêtes rectangulaires pour obtenir un champ de 90° . Cette hauteur suffit au point de vue optique; elle est égale à la hauteur de la fente. Les mesures peuvent donc être comparées avec les autres faites avec la même fente. La réflexion parasite peut être éliminée aussi bien qu'avec un échantillon rectangulaire. C'est seulement le réglage qui est pénible à cause des dimensions insuffisantes par rapport à l'appareil.

Le cube en verre crown (indice = 1,5219) avait une surface visiblement mate et cinq surfaces très bien polies. Ce cube servait surtout pour les expériences préliminaires dont il sera parlé plus loin.

Le cube en flint (indice = 1,6220) avait ses six surfaces polies d'une façon progressive; la dernière était « parfaitement » polie.

Pour le quartz, il fallait se contenter des surfaces existant sur le prisme.

Avant chaque essai, les surfaces de l'échantillon étaient enduites d'un vernis de même indice, à l'exception de la surface à essayer qui a été nettoyée avant chaque expérience à l'alcool pur, avec du coton pour éliminer autant que possible la poussière et la graisse. On peut contrôler d'ailleurs la netteté de la surface au moyen du regard. Comme la lumière incidente est très intense, on voit bien par diffusion la présence de la poussière et de la graisse.

L'échantillon nettoyé, on place sa surface à essayer dans l'axe de l'appareil et l'on procède au réglage dont il a été traité en détail dans les chapitres précédents. Nous ne reviendrons donc pas sur cette question,

L'échelle des diagrammes.

Le fait que les ordonnées sur les figures ne donnent pas directement les valeurs absolues des intensités a besoin d'explication.

En réalité, si l'échelle donnait directement ces valeurs, cela ne caractériserait la surface que dans certaines conditions déterminées (à savoir : pour un système de fentes et un éclaircissement incident donnés). Cette échelle ne serait « absolue » qu'en apparence. Il vaut donc mieux ne pas masquer le caractère relatif des valeurs des intensités diffusées représentées sur les figures.

C'est dans cet ordre d'idées que les intensités diffusées ont été rapportées tout simplement à l'intensité diffusée du plâtre qui reçoit le même éclaircissement (à travers le même système de fentes) que les surfaces à essayer.

L'ordonnée P représente donc (en échelle logarithmique) l'intensité diffusée normale du plâtre dans lesdites conditions, $P/10$ le dixième, $P/100$ le centième, etc... de cette valeur.

Si l'on attribue une valeur absolue déterminée à cette ordonnée, on pourra calculer d'une façon très simple les valeurs absolues des intensités diffusées, pour le cas particulier considéré, étant donné que l'échelle donne immédiatement les valeurs relatives correspondantes.

Un calcul très facile peut donc donner, à partir des diagrammes, les valeurs absolues des intensités diffusées pour n'importe quelle valeur de l'éclairement incident et pour toute valeur de S , c'est-à-dire de l'aire éclairée de la surface (voir les formules p. 11).

Cette sorte de généralisation des résultats, par le choix de l'échelle, n'est possible qu'avec l'emploi de coordonnées logarithmiques. Étant donné l'intervalle très étendu des intensités à représenter, cette manière de représentation s'impose. Elle facilite aussi, comme nous le verrons dans la suite, l'étude de l'influence du polissage.

En résumé, l'échelle adoptée pour les ordonnées est une échelle logarithmique d'intensités relatives ($\log I$) rapportées à l'intensité diffusée d'une surface de plâtre dans des conditions déterminées (et représentées par l'ordonnée P). On en tire les valeurs absolues en attribuant à cette ordonnée une valeur absolue déterminée.

Expériences préliminaires.

Avant de faire les expériences définitives, dont les résultats seront traités dans la suite, il a été nécessaire de faire une série d'expériences préliminaires. Ces mesures ont été faites sur deux surfaces du cube en crown : une surface presque mate et une très bien polie. Elles portaient sur la mise en évidence des différentes sources d'erreurs et sur la détermination des meilleures conditions d'expérience (intensité incidente, temps de pose, largeur de la fente, etc.), en vue de déterminer la méthode de recherche définitive à suivre qui a été traitée en détail dans le chapitre précédent. C'est par ce moyen qu'ont été déterminés les temps de poses optima, les écrans nécessaires pour l'affaiblissement de la lumière incidente, etc... C'est par cette série d'expériences qu'il est apparu nécessaire d'éliminer les diffusion et réflexion parasites provenant du côté de la fente, ce qui a été réalisé au moyen du système de fentes convenablement réglées. Toutes ces questions ont été déjà traitées. Je me borne donc ici à rappeler qu'au cours des essais définitifs les temps de pose pour toutes les pellicules étaient de 1 heure. Seule fait exception la pellicule dont les résultats sont représentés sur la figure 13. Le temps de pose pour cette pellicule était de 4 heures par diffu-sogramme, ce qui était nécessaire à cause de l'intensité relativement faible de la lumière monochromatique.

Les expériences définitives peuvent être groupées en quatre catégories, selon qu'elles tendent à mettre en évidence :

1. Les lois de la diffusion par les surfaces polies en général;
2. L'influence du degré de polissage;
3. L'influence de la matière dont est constitué l'échantillon;
4. L'influence de la longueur d'onde sur les phénomènes de diffusion.

Nous allons maintenant passer en revue ces résultats.

*La diffusion de la lumière par une surface polie donnée.
Phénomènes généraux.*

Sur un diffusogramme quelconque il y a une tache très dense (région indéterminable), solarisée même quelquefois, qui correspond à la lumière régulièrement réfléchie. A droite et à gauche de cette tache la densité de la pellicule diminue suivant une loi déterminée. Par un procédé graphique très simple, on peut en tirer le diagramme de $\log I$ en fonction de l'angle d'observation (voir p. 12-13). Les « courbes de diffusion » ainsi obtenues varient considérablement en fonction de l'angle d'incidence. Elles sont d'autant plus asymétriques que l'angle d'incidence est plus grand, pour être presque symétriques sous les petits angles d'incidence. Par suite, on peut prévoir une symétrie parfaite sous l'angle d'incidence 0° . Cette symétrie supposée parfaite ne pouvait pas être contrôlée directement avec l'appareil utilisé à cause des difficultés d'expérimentation qui se présentent sous une incidence normale.

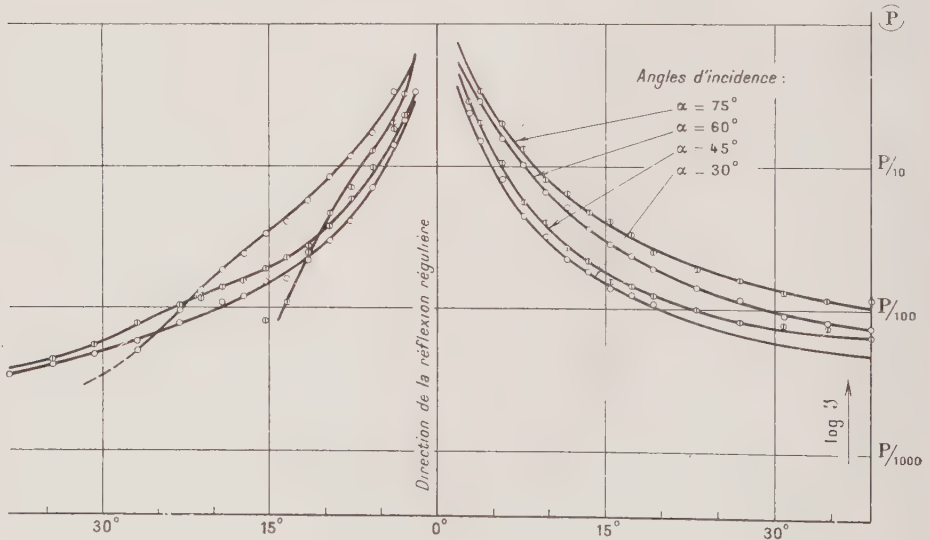


Fig. 4. — Courbes de diffusion d'une surface en flint.

La figure 4 représente les diffusogrammes d'une même surface sous des angles d'incidence différents (30° , 45° , 60° et 75°). (Les angles de diffusion sont comptés à partir de la direction de réflexion régulière quel que soit l'angle d'incidence). On voit nettement l'asymétrie croissante avec l'angle d'incidence. La diffusion sous un angle déterminé à partir de la direction de réflexion régulière croît avec l'angle d'incidence sur la partie droite de la figure, tandis qu'elle atteint un maximum pour décroître ensuite sur la partie gauche de la figure. L'asymétrie des courbes se manifeste donc de

telle façon que la déformation a lieu dans le même sens du côté de la lumière incidente et dans le sens contraire de l'autre côté si l'angle d'incidence dépasse une certaine limite.

On peut très bien comparer sur cette figure la variation des courbes de diffusion dans le voisinage de la direction de réflexion régulière. On arrive cependant à représenter les phénomènes d'une façon beaucoup plus claire en prenant comme origine des coordonnées la normale à la surface pour les diffusogrammes relatifs à différents angles d'incidence (fig. 5). De plus, on comprend beaucoup mieux le changement dans le sens de la variation de la diffusion du côté opposé à la lumière incidente, vers les directions rasantes. Il en est de même pour l'accroissement de la diffusion avec l'angle d'incidence du côté de la normale à la surface. Dans les directions éloignées de la direction de réflexion régulière, l'intensité diffusée tend vers une limite (voir la partie droite sur la figure). Avant de procéder à l'examen des résultats, il convient de faire certaines remarques sur la nature de la diffusion de la lumière par les surfaces polies. .

Un coup d'œil sur une telle surface (convenablement éclairée) suffit pour se rendre compte que la lumière diffusée ne provient pas de la diffusion moléculaire superficielle. Ou plus exactement, cette partie de la diffusion est parfaitement négligeable par rapport à la diffusion globale (de même que la diffusion massique, traitée page 18). Cette dernière est conditionnée presque totalement par les irrégularités de la surface dues au polissage. Ce sont ces érosions de toute forme, de même que les petits grains microscopiques qui en résultent, qui déterminent le caractère de la diffusion résultante.

Toute théorie devrait donc commencer par décrire une surface irrégulière.

Si la surface était connue sous la forme $S = f(x, y, z)$, un calcul des courbes de diffusion serait théoriquement possible. Pratiquement cela devrait être extrêmement compliqué. Comme d'ailleurs une telle connaissance de la surface semble être presque impossible, il faut renoncer à cette solution.

Je n'ai pas trouvé la solution définitive du problème. Il me semble pourtant avoir trouvé la voie qui pourrait conduire à des résultats très intéressants. Une solution au moins qualitative du problème doit être cherchée certainement dans cette direction.

C'est une méthode qu'on pourrait appeler statistique à laquelle je pense. Une surface polie peut être imaginée comme une foule de surfaces microscopiques. On peut supposer encore que les petites surfaces dont les normales font le même angle avec la surface théorique sont distribuées au hasard sur toute l'étendue de la surface, les conditions techniques du polissage étant les mêmes pour toutes les parties de la surface. Une « sur-



Fig. 5. Courbes de diffusion d'une surface en flint.
Facteurs de réflexion pour de la lumière incidente naturelle calculées d'après les formules de Fresnel.

face théorique » devrait avoir même direction de la normale dans tous ses points. En pratique, ce n'est pas le cas. On devrait dire plutôt que la plus grande partie des points d'une surface donnée ont la même normale. Il y a d'autres « groupes » dont les normales font des angles plus ou moins grands avec la normale théorique. Le nombre des surfaces microscopiques qui entrent dans un de ces groupes est d'autant moins grand que la normale diffère davantage de la normale théorique. Si l'on connaissait numériquement les données, il serait facile de tracer une courbe en portant en ordonnée le pourcentage des différents groupes en fonction des normales des différents groupes (de 0° à 90° à partir de la normale théorique). Cette courbe caractériserait la surface d'une manière statistique. Le calcul de la diffusion sur une telle surface n'est pas certainement inimaginable. Il y aurait pourtant une grande difficulté dans le calcul des phases pour une surface définie statistiquement. Et il peut très bien arriver qu'un résultat numérique soit même impossible à trouver dans cette voie. L'image peut rendre tout de même de bons services à cause de sa simplicité. Nous verrons encore dans la suite des résultats qui rendent très vraisemblable cette théorie.

S'il y avait une réflexion pure et simple sur les différents « groupes », la diffusion d'un « groupe » devrait augmenter avec l'angle d'incidence de la même façon que la lumière régulièrement réfléchie. Cela veut dire qu'en joignant sur la figure 5 les ordonnées de chaque courbe de diffusion sous des angles égaux et comptées dans le même sens à partir de chaque angle de réflexion régulière, on devrait obtenir des courbes de même allure que la courbe de réflexion du verre en question. Elles devraient donc augmenter, d'une façon continue vers les directions rasantes. En outre, deux points situés à gauche et à droite et à la même distance d'une certaine direction de réflexion devraient être situés sur la même « courbe de réflexion ⁽¹⁾ », si les surfaces microscopiques d'un certain « groupe » étaient réparties uniformément sur toute la surface. D'une façon générale, il n'en est pas ainsi sur la figure. Les courbes n'ont pas non plus l'allure de courbes de réflexion. Cela prouve qu'il ne s'agit pas d'un phénomène de réflexion pur et simple. Le fléchissement des courbes dans la région des directions rasantes ne peut pas être interprété par la seule réflexion. Il est probable par contre que l'influence de la diffraction est prépondérante dans ces directions. L'étude approfondie des propriétés particulières des surfaces conformément à la description faite plus haut pourrait peut-être expliquer ces phénomènes. Il est probable du reste que les phénomènes se compliquent quand il s'agit de directions rasantes. Abstraction faite de cette région, on peut donc dire que : **La diffusion d'une surface polie augmente avec l'accroissement de l'angle d'incidence de la lumière.**

() Voir les courbes en pointillé sur la figure 5.

Cette règle générale est d'autant plus justifiée que les écarts vis-à-vis de cette loi ne sont sensibles que sous des angles de diffusion où la valeur absolue de la lumière diffusée est faible. Cela s'explique bien si l'on se rappelle que, pour la plus grande partie des points de la surface, la normale à cette dernière coïncide avec la normale théorique de la surface ou ne diffère d'elle que très peu. Le caractère de réflexion est donc prépondérant dans le voisinage des rayons régulièrement réfléchis.

En se bornant à cette partie des courbes de diffusion et en examinant les courbes correspondant à des angles d'incidence allant jusqu'à 50° environ, la loi énoncée peut être précisée davantage en ajoutant que, d'une façon approximative (et avec les restrictions mentionnées), l'intensité diffusée, se rapportant à une distance angulaire fixe par rapport à la direction de réflexion régulière, varie avec l'angle d'incidence comme le facteur de réflexion en lumière naturelle.

C'est-à-dire qu'on peut tracer la courbe de diffusion correspondant à n'importe quel angle d'incidence (de 0° à 50° environ) en déplaçant chaque point de la courbe de diffusion, correspondant à un angle d'incidence donné, de la même quantité angulaire sur une courbe de réflexion.

Le degré d'exactitude de cette loi approximative varie beaucoup d'un échantillon à l'autre. Elle peut servir quand même à une évaluation grossière de la variation de la diffusion superficielle en fonction de l'angle d'incidence.

Tout ce qui a été dit est valable pour des surfaces visiblement mates ou, au moins, présentant à l'œil nu des traces de dépolissage, des petits grains diffusants. Pour des surfaces très bien polies, les résultats deviennent beaucoup plus irréguliers, tout en conservant les mêmes allures.

L'influence du polissage. Constante de polissage.

L'influence du polissage a été examinée sur l'échantillon en flint. Ses six surfaces progressivement polies ont été examinées dans les mêmes conditions. Quatre diffusogrammes ont été pris par surface (aux angles d'incidence de 30° , 45° , 60° et 75°). Ces quatre diffusogrammes étaient photographiés sur la même pellicule.

En procédant de cette façon, la position du cube de verre pouvait rester fixe pendant toute la série de prises par rapport au support mobile et c'est seulement ce dernier qui devait être tourné d'un certain angle pour régler selon l'incidence voulue. Cela présentait l'avantage que la partie éclairée de la surface soumise à l'essai restait la même pour les quatre diffusogrammes. Les diffusogrammes résultants étaient donc rigoureusement comparables. Cela a été nécessaire pour éviter toute différence que pouvaient présenter les différentes parties de la surface au point de vue diffusion. Pour contrôler les résultats, une série de diffusogrammes a

été faite des surfaces en question sous le même angle d'incidence (45°) et sur la même pellicule. Les résultats étaient les mêmes que quand on comparait les résultats fournis par les différentes pellicules, ce qui prouve l'exactitude des expériences. (ces résultats de contrôle ne sont pas reproduits sur les figures).

Les figures 6, 7, 8 et 9 représentent le logarithme de l'intensité diffusée (voir p. 22) dans les différentes directions par les surfaces progressivement polies du flint. Sur une même figure se trouvent les courbes de diffusion correspondant au même angle d'incidence.

Avant de procéder à la discussion de ces figures, il faut faire des remarques de caractère général. Nous avons discuté dans ce qui précède la diffu-

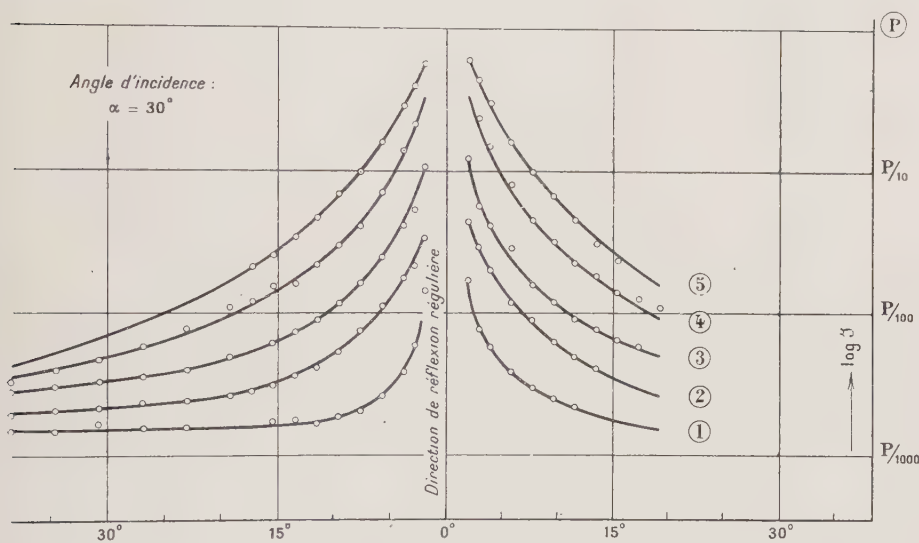


Fig. 6. — Courbes de diffusion de cinq surfaces d'un même échantillon en flint.

sion d'une surface polie en général. Si l'on trace un diagramme des différentes courbes de diffusion se rapportant à la même surface (à la façon de la figure 5), on peut en tirer deux conclusions importantes. On voit, d'une part, qu'au fur et à mesure que le polissage augmente, l'accroissement régulier de la diffusion avec l'angle d'incidence n'est pas réalisé. L'allure croissante existe toujours, mais aux forts polissages disparaît toute régularité. Il arrive même que la diffusion diminue avec l'accroissement de l'angle d'incidence pour augmenter de nouveau par la suite. Ces écarts sont pourtant si irréguliers qu'on ne peut pas voir là un changement systématique dans les lois de la diffusion. D'autre part, les courbes de diffusion sont d'autant moins définies (les écarts d'une courbe continue sont d'autant plus grands) que la surface est plus polie. Ces écarts aussi sont tout à fait irréguliers,

à part la seule « régularité » consistant en ce qu'elles augmentent avec le degré de polissage.

Nous avons vu (p. 19) que l'influence de la lumière parasite diffusée ou réfléchie (qui ne peut pas être éliminée complètement) augmente au fur et à mesure que les valeurs absolues de l'intensité diminuent.

Pourtant cette lumière parasite ne peut pas être la cause des écarts vis-à-vis des lois précédemment trouvées. D'une part, pour un angle déterminé d'incidence, la lumière parasite a sensiblement la même valeur pour tous les points correspondants des diffusogrammes. L'intensité de la lumière parasite varie un peu avec l'angle d'incidence, puisque la valeur absolue de la lumière régulièrement réfléchie, qui cause une partie de cette

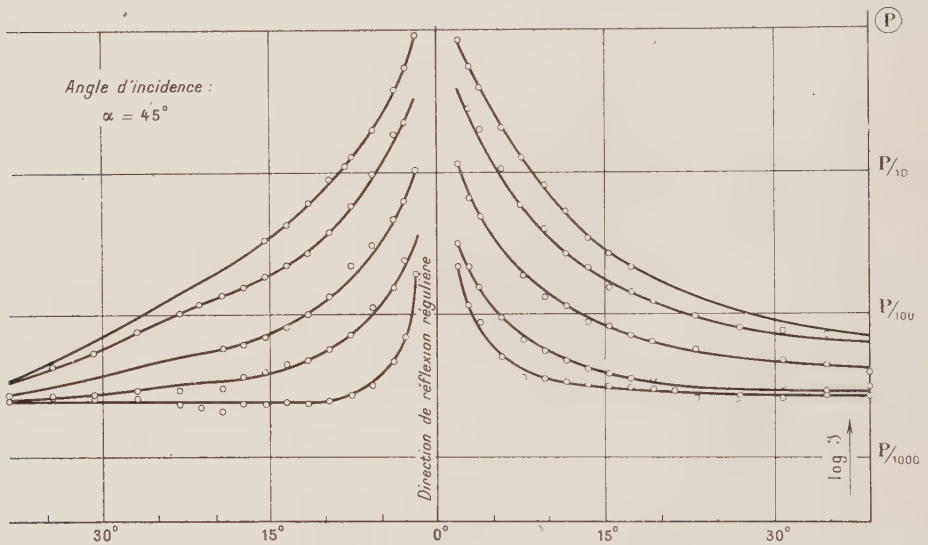


Fig. 7. — Courbes de diffusion de cinq surfaces d'un même échantillon en flint.

lumière diffusée parasite, varie elle aussi. Cette variation est pourtant faible et régulièrement croissante. D'autre part, cette lumière parasite ne peut pas présenter d'irrégularités, puisque la position relative de tout ce qu'il y a à l'intérieur de l'appareil ne change pas pendant toute la durée des mesures. Les irrégularités proviennent donc en réalité de la diffusion irrégulière des surfaces en question.

Si l'on regarde au moyen du regard à l'intérieur de l'appareil une surface extrêmement polie, on voit à l'œil nu, pourvu que la lumière incidente soit assez intense, que la diffusion de la surface provient de la diffusion plus ou moins forte de points distincts de la surface. L'image n'est nullement homogène. Il y a des points extrêmement brillants et des points complètement invisibles. La brillance des surfaces est d'autant moins homogène que la surface est plus polie. C'est certainement cette irrégularité du

polissage qui est la cause des irrégularités observées sur les diffusogrammes. Ces irrégularités doivent être forcément plus prononcées aux forts polissages. C'est que sur les surfaces peu polies l'effet des irrégularités se compense en raison de leur grand nombre. Le résultat en est une « régularité statistique » pour ainsi dire, qui définit bien la diffusion de la surface dans une certaine direction déterminée. Parlant dans le langage exposé plus haut, ce sont les surfaces microscopiques appartenant au même « groupe » (même normale) qui sont distribuées sur la surface d'une manière irrégulière dans le cas des surfaces bien polies. Ou mieux : leur nombre sur la partie de la surface qui diffuse n'est pas suffisamment grand pour qu'on puisse considérer les points diffusants dans les mêmes conditions comme étant distri-

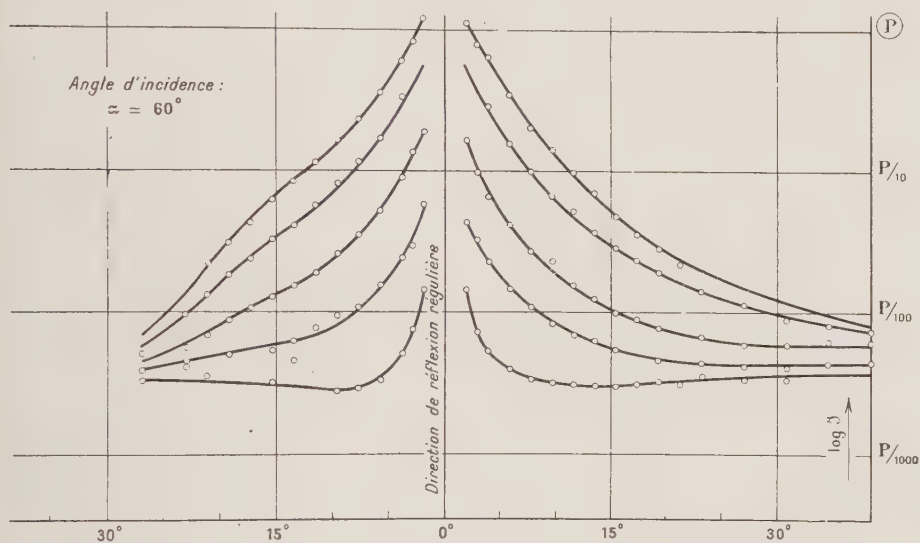


Fig. 8. — Courbes de diffusion de cinq surfaces d'un même échantillon en flint.

bués au hasard. La méthode technique du polissage entre en ligne ici directement dans les résultats. Les différents points de la surface diffusent, pour ainsi dire, individuellement. Le résultat final en est que, par leur nombre de plus en plus limité, la compensation des effets de ces différents points se fait d'autant moins bien que la surface est mieux polie. Les courbes de diffusion sont donc de plus en plus irrégulières.

J'ai dit qu'en général ces irrégularités ne sont pas systématiques. Il y avait pourtant certains diffusogrammes qui présentaient des particularités très curieuses. Sans donner une grande importance à ces résultats, il est peut-être bon de les indiquer. Certains d'entre eux (ceux des surfaces bien polies) montraient une variation périodique de la diffusion en fonction de l'angle d'observation. De plus, cette oscillation de l'intensité diffusée était telle que la courbe moyenne était sensiblement la même que la courbe

continue de diffusion se rapportant à la même surface, mais prise sur un autre point de cette dernière. C'est que cette oscillation n'était pas sensible pour d'autres points de la même surface. Les intensités maxima allaient en diminuant au fur et à mesure qu'on s'éloignait de la direction de réflexion régulière et que l'angle d'incidence était plus faible. S'il n'y avait pas de sources d'erreurs particulières dans ces mesures (ce qui est très probable sans être absolument indiscutable), cette oscillation de l'intensité diffusée pourrait être attribuée à des irrégularités systématiques de la partie en question de la surface.

Il y a eu un autre résultat plus curieux encore : un diffusogramme portait dans une direction oblique des franges de diffraction très serrées et

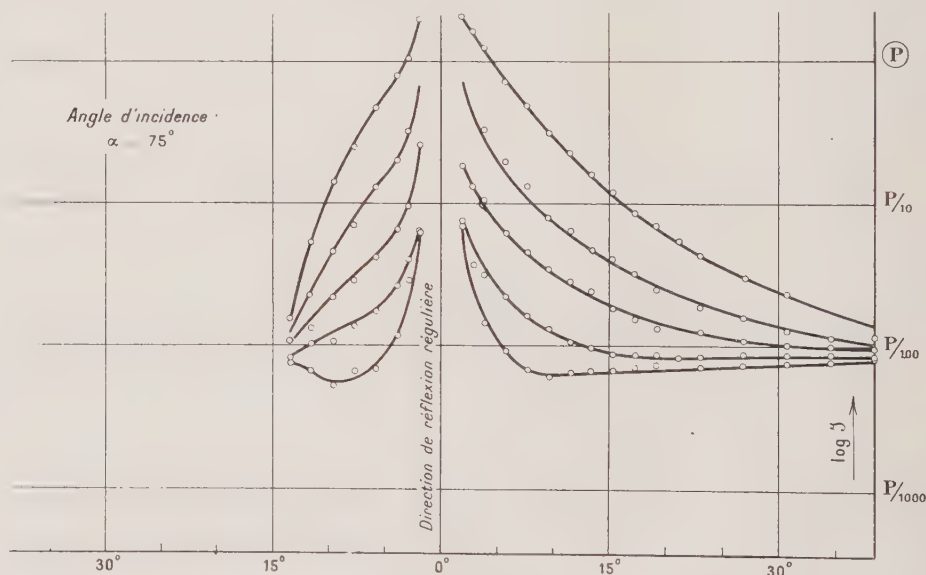


Fig. 9. — Courbes de diffusion de cinq surfaces d'un même échantillon en flint.

très régulières. Je me borne à enregistrer ce résultat sans en chercher les causes; en ajoutant quand même qu'il semble impossible que ces franges aient leur origine ailleurs que sur la surface en question.

Après ces considérations générales, passons à l'étude des figures 6, 7, 8 et 9. Ce qu'on voit de prime abord, c'est que **la diffusion diminue au fur et à mesure que le polissage est plus parfait**. (Je fais ici abstraction des irrégularités dont je viens de parler). C'est une loi globale qui n'exprime rien de plus que ce qu'on sait bien depuis longtemps. L'intéressant est de voir s'il y a un moyen de définir le polissage d'une surface au moyen de la diffusion à sa surface. Si la diffusion diminuait dans toutes les directions dans les mêmes proportions (ce qui signifierait un simple déplacement de la courbe de diffusion dans le sens des $\log I$), la question serait simple au point

de vue théorique et pratique. Comme nous le voyons, ce n'est pas le cas. Les courbes de diffusion changent de forme avec le degré de polissage, et ce changement n'est pas simple à saisir, à première vue.

Si l'on porte en ordonnées les différences de deux courbes (les abscisses restant les mêmes que sur la figure), on obtient une courbe qui donne en échelle logarithmique la variation des facteurs d'affaiblissement de l'intensité diffusée dans les diverses directions de diffusion. On a, en effet :

$$\log I_1 - \log I_2 = \log \frac{I_1}{I_2}$$

où I_1 est une fonction qui correspond à la courbe de diffusion d'une certaine surface 1, et I_2 la fonction correspondant à la surface 2. On peut tracer ces « courbes des rapports d'intensités » pour tous les angles d'incidence étudiés. (Il s'agit naturellement toujours du même couple de surfaces). On verra que ces courbes sont différentes selon les différents angles d'incidence, ce qui était à prévoir.

De ces courbes on ne peut tirer rien qui caractérise, d'une façon simple, l'une ou l'autre des deux surfaces en question.

Il en est autrement si l'on compare entre elles les courbes des rapports d'intensités se rapportant à différents couples de surfaces. En effet, si l'on trace les courbes des rapports d'intensités correspondant à toutes les combinaisons de deux courbes de diffusion (et se rapportant au même angle d'incidence), la série de courbes ainsi obtenue montre qu'il y a proportionnalité entre les ordonnées (logarithmiques) correspondantes des différentes courbes. De plus, le facteur de proportionnalité conserve sa valeur quel que soit l'angle d'incidence, pourvu naturellement que les surfaces à comparer restent les mêmes.

Pour pouvoir tracer deux courbes des rapports d'intensités, il faut connaître au moins trois courbes de diffusion se rapportant au même angle d'incidence. La comparaison porte donc sur trois surfaces.

Ce qui a été dit peut s'écrire :

$$\log I_1 - \log I_3 = c (\log I_2 - \log I_3)$$

ou bien :

$$\log \frac{I_1}{I_3} = c \log \frac{I_2}{I_3} \quad (1)$$

où I_1 , I_2 , I_3 sont des fonctions qui correspondent aux courbes de diffusion des surfaces 1, 2 et 3; c est le facteur de proportionnalité dont il a été question.

La relation (1) reste valable quelle que soit la valeur de l'angle d'incidence auquel se rapportent les fonctions I_1 , I_2 et I_3 , pourvu que cet angle soit le même pour les trois fonctions. Cette condition satisfaite, on trouve

que le facteur c ne varie pas non plus avec l'angle d'incidence. Il s'agit donc d'une véritable constante.

Reste la question de savoir laquelle des trois surfaces se trouve être caractérisée par la constante c .

Pour répondre à cette question, il convient de donner à la relation (1) une forme plus générale. En éliminant les logarithmes, elle peut s'écrire :

$$I_1 = I_3 \left(\frac{I_2}{I_3} \right)^c \quad (2)$$

Les fonctions I_2 et I_3 une fois déterminées, on peut définir une fonction F telle que

$$I_1 = I_3 F^c \quad (3)$$

ou d'une façon plus générale encore

$$I_x = I_e F^{c_x} \quad (4)$$

où I_x est la fonction correspondant à la courbe de diffusion d'une surface x . C'est à la même surface que se rapporte la constante c_x . I_e est une fonction analogue à I_x , se rapportant à une surface étalon e .

Le signe de la constante c_x dépend du choix des fonctions I_2 et $I_3 = I_e$. Il y aura avantage à les choisir de façon que :

$$I_e = I_3 > I_2.$$

On obtient ainsi des constantes qui sont d'autant plus grandes que le polissage est plus parfait.

On trouve, en effet, en comparant les relations (2) et (4) que, si

$$I_x < I_e$$

on a

$$c_x > 0$$

si au contraire

$$I_e > I_x$$

on obtient

$$c_x < 0$$

Dans le cas particulier des deux surfaces étalons 2 et 3, on a :

$$c_e = 0 \quad \text{pour} \quad I_x = I_3 = I_e$$

et

$$c_e = 1 \quad \text{pour} \quad I_x = I_2$$

La surface étalon e qui reste explicitement dans la formule (4) est donc caractérisée par le fait que sa constante

$$c_e = 0 \quad (5)$$

ce qui exprime tout simplement qu'on compare la surface étalon e à elle-

même; la différence au point de vue diffusion doit donc être zéro par définition.

Quant à la valeur numérique des constantes c_x en général, la surface étalon e une fois choisie, tout dépend du choix de la surface 2 [voir la relation (2)].

La constante d'une troisième surface donnée sera d'autant plus grande que la différence au point de vue polissage entre les deux surfaces étalons sera plus petite.

Le choix des deux fonctions est d'ailleurs forcément arbitraire, puisque toutes les courbes des rapports d'intensités sont équivalentes. Autrement dit : n'importe laquelle de ces fonctions peut jouer, du moins théoriquement, le rôle de la fonction $\log F$.

Pratiquement, l'exactitude des résultats exige qu'il y ait une différence minimum, bien définie, entre les deux surfaces étalons.

En tout cas, ces deux surfaces une fois choisies, ou, ce qui revient au même, la fonction F une fois définie, le facteur c_x caractérise d'une façon univoque le degré de polissage d'une surface x .

C'est pourquoi j'appellerai ce facteur la constante de polissage. Avec la connaissance de ce facteur, on peut tracer une courbe de diffusion quelconque de la surface en question, pourvu qu'on connaisse la courbe de diffusion pour le même angle d'incidence d'une surface étalon et la fonction F .

En résumé : **l'étude des fonctions des rapports d'intensités montre que :**

1° Ces fonctions diffèrent entre elles par un facteur constant;

2° Cette constante, appelée la constante de diffusion de la surface en question, est indépendante de l'angle d'incidence.

La figure 10 représente les courbes des rapports d'intensités (en échelle logarithmique) de quatre surfaces dont les courbes de diffusion sont tracées sur les figures 6, 7, 8 et 9. Sur chacune de ces dernières figures on trouve cinq courbes de diffusion. L'étude a porté sur les six surfaces du cube en flint. Pourtant, le polissage de deux d'entre elles différait si peu que, pour plus de clarté sur les figures, les courbes de diffusion d'une des surfaces en question n'ont pas été représentées (on voit donc que deux surfaces jugées différentes peuvent ne pas l'être si l'on les soumet à une étude exacte).

Des cinq courbes tracées sur les figures 6 à 9 on peut déterminer quatre courbes de rapports d'intensités se rapportant à une surface étalon. La surface étalon, choisie arbitrairement, est celle qui correspond à la courbe 4 sur les figures en question. Les courbes ainsi définies sont donc :

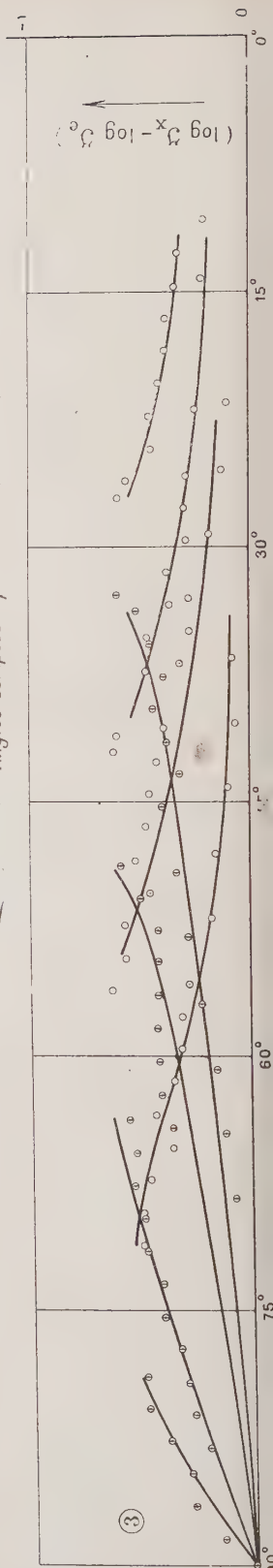
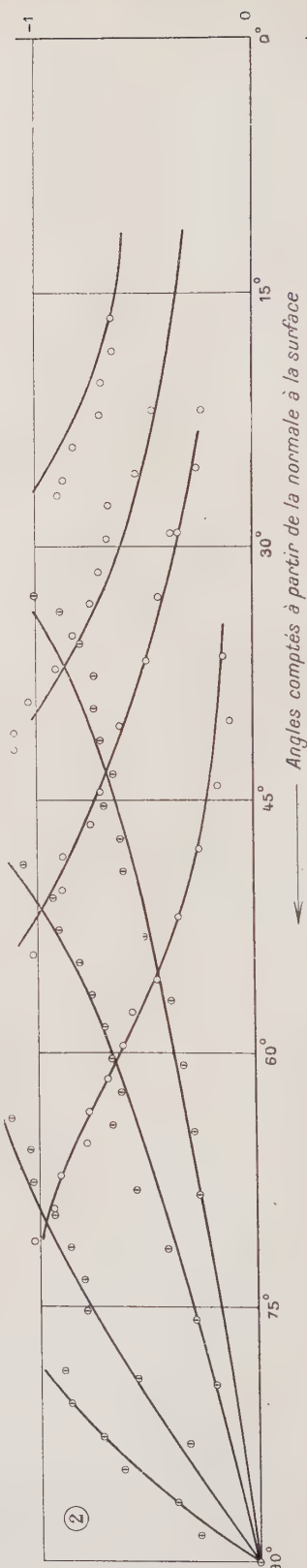
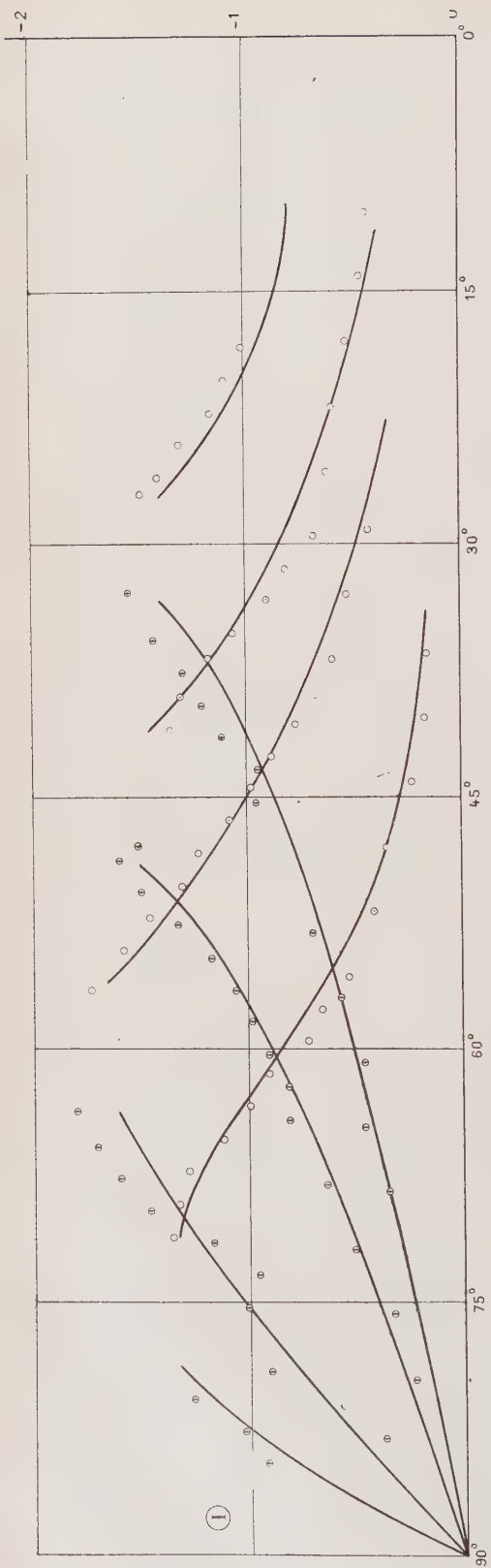
$$\log I_3 - \log I_4$$

$$\log I_2 - \log I_4$$

$$\log I_1 - \log I_4$$

$$\log I_5 - \log I_4$$

quel que soit l'angle d'incidence.



Angles comptés à partir de la normale à la surface

On a donc seize courbes pour les quatre angles d'incidence examinés (30° , 45° , 60° et 75°) (1).

La fonction F a été définie de façon que :

$$\log F = \log \frac{I_3}{I_4},$$

ce qui entraîne, comme on vient de le voir, que :

$$c_4 = 0$$

$$c_3 = 1$$

Les courbes qu'on voit sur la figure 10 ont été tracées de la façon suivante.

Les trois ordonnées correspondantes des trois courbes ont été additionnées (ce qui fournit une quatrième courbe du même genre) pour répartir les erreurs de mesure. Les courbes joignant les points ainsi obtenus ont été multipliées par des facteurs convenablement choisis et évalués au préalable. L'évaluation des constantes de polissage a été faite directement d'après les deux courbes en question (en calculant le facteur pour chaque point de la courbe). Les constantes indiquées plus bas sont la moyenne arithmétique des quatre constantes se rapportant aux quatre angles d'incidence étudiés, ces dernières étant les moyennes arithmétiques des rapports des ordonnées correspondantes des deux courbes de rapports d'intensités (et se rapportant naturellement aux mêmes angles d'incidence).

Les constantes ainsi calculées sont :

Surface.	1	2	3	4	5
Constante.	2,53	1,87	1	0	-0,64

Les écarts des courbes représentées sur la figure 10 ne sont pas systématiques. On peut donc affirmer que la loi indiquée existe réellement, tout en remarquant que la précision de l'évaluation de la constante de polissage est limitée. Ces écarts sont dus d'ailleurs au défaut d'homogénéité du polissage de la surface dont il a été question plus haut. Ils sont d'autant plus grands — comme on le voit sur la figure — que l'angle d'incidence est plus grand et que le polissage est plus avancé.

Supposons que ces courbes aient été déterminées avec beaucoup plus de précision (en examinant un nombre beaucoup plus grand de surfaces). On pourrait, dans ce cas, définir la « bonté du polissage » par l'écart moyen absolu des points fournis par l'essai d'une surface aux points de la courbe exacte.

(1) Les courbes ($\log I_5 - \log I_4$), dont les ordonnées sont très petites par rapport aux autres, n'ont pas été représentées sur la figure 10.

D'après ce qui a été dit, on voit qu'il existe réellement un moyen (la constante de polissage) de définir raisonnablement le polissage d'une surface, bien que de façon relative. Voyons maintenant comment on pourrait déterminer cette constante de façon plus pratique et moins longue.

Nous avons vu que la constante est la même pour tous les angles d'incidence. Si l'on ne veut donc déterminer que la constante de polissage, il suffit de prendre un seul diffusogramme à un angle d'incidence déterminé. Avec la courbe de diffusion qu'il fournit et une courbe de référence (courbe de l'étalon), on peut déterminer d'une façon assez précise la constante de diffusion pourvu que la fonction F ait été déterminée au préalable. Comme les irrégularités sont d'autant moins prononcées que l'angle d'incidence est plus faible, il est préférable de faire les essais pour un tel angle (30° par exemple) (1). Les courbes de diffusion sont ainsi très bien déterminées, ce qui facilite la détermination exacte de la constante de diffusion.

Cette définition du polissage n'est valable que pour un corps donné : pour le flint dans notre cas. Tout ce qui a été dit cesse donc d'être valable si les deux surfaces à comparer sont de matières différentes. Il est à remarquer en outre que même deux surfaces de la même matière ne sont comparables que si elle ont été polies par le même procédé.

Au point de vue pratique, cette définition du polissage est satisfaisante. La signification théorique de la constante de diffusion reste pourtant inexpiquée. Elle devrait cependant avoir une certaine importance dans la théorie de la diffusion par les surfaces polies. C'est que la forme de la loi trouvée plus haut ne change pas avec le degré de polissage. Elle a donc un caractère général. Des conséquences ultérieures pourraient probablement être tirées d'une théorie qui expliquerait ces phénomènes. Cela serait d'autant plus désirable que, comme nous le verrons dans la suite, il est difficile de décider par l'expérience dans quelle mesure ces régularités sont dues au procédé de polissage d'une part et à la matière en question d'autre part (voir le paragraphe suivant).

On peut imaginer deux méthodes pour caractériser une surface polie, outre celle que je viens d'expliquer. Ces deux méthodes ne sont valables, elles aussi, que pour le même corps. Toutes deux sont d'ordre purement pratique.

On pourrait caractériser le polissage d'une surface donnée par la valeur absolue de sa diffusion dans une direction donnée, correspondant à un angle d'incidence donné. Une fois ces deux angles choisis, la comparaison des diffusions correspondantes pourrait fournir un moyen pour échelonner les surfaces.

(1) L'incidence normale, sans être indispensable pour obtenir la constante de diffusion, pourrait être réalisée en modifiant convenablement l'appareil.

L'autre méthode consisterait dans la détermination de l'angle dans lequel l'intensité dépasse un certain pourcentage de la lumière incidente.

Ces deux méthodes auraient l'avantage d'avoir un caractère absolu. Par contre, la constante ainsi choisie serait complètement arbitraire sans simplifier notablement les expériences. On devrait faire, en effet, dans les deux cas, un diffusogramme par surface, puisque une détermination exacte d'un point quelconque de la courbe de diffusion ne peut se faire pour un point isolé. L'interpolation graphique est donc nécessaire pour plus d'exactitude. La méthode exposée plus haut ne nécessite elle aussi qu'un diffusogramme par surface. Il est vrai que la fonction F doit être déterminée au préalable et que le calcul de la constante est plus compliqué. Par contre, la constante de diffusion obtenue par ce procédé n'a rien d'arbitraire, bien qu'elle ne puisse être que relative. Cette constante caractérise, en outre, la diffusion de la surface en question dans toutes les directions quel que soit l'angle d'incidence. J'estime donc que c'est cette méthode qui répond le mieux aux exigences de la question.

L'influence de la nature de l'échantillon.

Les courbes de diffusion des différents corps sont nettement différentes. Il serait difficile cependant de dire d'une façon précise en quoi consiste cette différence.

Nous avons vu que les courbes de diffusion des surfaces différemment polies d'un même corps sont complètement différentes. C'est-à-dire que la forme de la courbe de diffusion change avec le polissage. Il serait donc logique de comparer la diffusion de deux surfaces dont le polissage est le même. Mais que signifie *polissage égal* s'il s'agit de deux corps différents ? On ne peut pas répondre à cette question d'une façon satisfaisante, puisqu'il n'existe pas de définition théorique absolue du polissage. La détermination du degré de polissage que j'ai proposée dans le paragraphe précédent est relative, elle aussi.

L'expérience ne peut pas résoudre non plus la question. Supposons, en effet, qu'on ait traité de la même façon deux surfaces de deux corps différents. On pourrait très bien dire qu'elles ont été polies de la même façon, sans pouvoir dire que leur polissage soit égal. Des corps différents réagissent d'une façon différente au cours du polissage par leur résistance mécanique différente. Il est donc évident que les surfaces des différents corps, obtenues par le même procédé de polissage, ne seront même pas statistiquement semblables.

Une définition du polissage égal pourrait être donnée de la façon suivante : Deux surfaces polies sont semblables si les irrégularités de toute espèce sont réparties suivant la même loi statistique sur les deux sur-

faces. [C'est-à-dire que, si ces deux surfaces appartenaient au même échantillon (même corps), leurs courbes de diffusion seraient identiques]. Pourtant cette « égalité » ne pourrait être contrôlée que si l'on pouvait se baser sur une théorie complète du phénomène. En outre il resterait à savoir si les données mécaniques différentes des corps en question rendent possible la réalisation de deux surfaces semblables au point de vue « géométrie statistique ». C'est seulement dans ce cas qu'on pourrait examiner, d'une façon exacte, l'influence des corps.

Il ne reste donc qu'à se contenter de ce que donne l'expérience et à chercher une base de comparaison quelconque, même arbitraire.

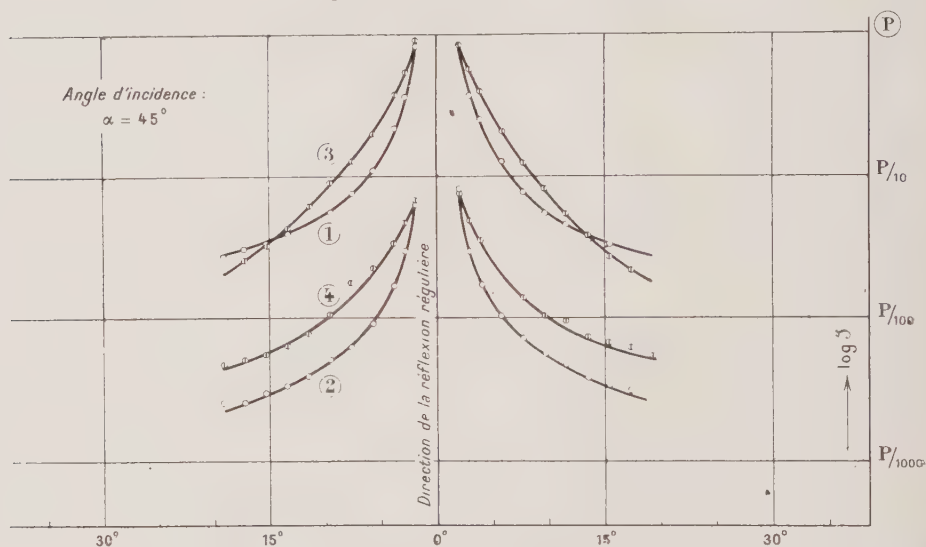


Fig. 11. — Courbes de diffusion du quartz 1, du crown 2 et du flint 3 et 4.

Le moins arbitraire serait de comparer les courbes de diffusion de deux surfaces dont les diffusions normales à incidence normale seraient égales, ou bien celles dont les diffusions normales à incidence normale seraient dans un rapport égal au rapport des facteurs de réflexion à incidence normale. Il faut pourtant faire abstraction de cette méthode, puisque la mesure de la diffusion normale à incidence normale rencontre des difficultés insurmontables.

La figure 11 représente une courbe de diffusion du crown, une du quartz et deux du flint. Les courbes du quartz et du crown se rapportent à des échantillons arbitrairement choisis. Pour le flint, par contre, les courbes sont choisies de telle façon que les intensités diffusées des échantillons en flint soient égales à l'intensité diffusée du quartz et du crown sous un angle de diffusion arbitrairement choisi. Cet angle a été choisi à 2° de la direction de réflexion régulière (au lieu de 0° qu'on ne peut pas réaliser à cause de la pré-

sence de la tache presque opaque due à la lumière régulièrement réfléchie, ce qui rend impossible toute mesure dans cette région de la pellicule). L'angle d'incidence, pour les quatre diffusogrammes sans exception, a été de 45° .

L'une des deux courbes se rapportant au flint est la même que la cinquième courbe (d'en bas) sur la figure 7. L'autre a été interpolée au moyen de la fonction F dont il a été question plus haut. C'est justement pour cette raison, c'est-à-dire parce qu'une courbe de diffusion quelconque peut être tracée sans qu'on ait à réaliser une surface déterminée de comparaison, que le flint a été choisi (comme le corps le plus étudié) pour la comparaison des intensités diffusées.

D'après ce qui a été dit, cette comparaison ne peut porter que sur des généralités. Par exemple, on ne peut pas tirer de cette figure la conclusion que la diffusion du flint est plus forte que celle du crown, puisque la méthode de comparaison choisie est arbitraire. Il découle, par contre, de la figure d'une façon évidente que le rayon réfléchi sur une surface de crown ou de quartz est plus nettement défini qu'un rayon réfléchi sur une surface de flint, puisque les courbes pour ces deux corps sont plus raides au milieu que celles pour le flint. La diffusion diminue donc pour ces deux corps plus rapidement que pour le flint si l'on s'éloigne de la direction de réflexion régulière.

Comme l'indice du crown et du quartz est inférieur à l'indice du flint, on pourrait attribuer cette différence dans la diffusion à cette circonstance. On ne doit pas oublier non plus que les propriétés mécaniques des trois corps en question sont différentes (voir p. 39) elles aussi.

Le phénomène est donc si complexe qu'il vaut mieux se borner ici à l'énoncé pur et simple des résultats expérimentaux.

Il y a encore une remarque à faire. La courbe du quartz coupe la courbe du flint; la courbe du crown, par contre, ne la coupe pas. Il serait erroné de tirer des conclusions importantes de ce résultat, car la méthode de comparaison choisie est arbitraire. Il ne faut pas oublier pourtant que la comparaison entre le quartz et le flint d'une part (l'un cristallisé, l'autre amorphe) et entre le crown et le flint d'autre part (tous deux amorphes) a été faite de la même façon. Il n'est donc pas absolument invraisemblable qu'il y ait une différence essentielle entre les deux cas, due à l'anisotropie.

Qu'une telle différence puisse exister réellement, cela se voit sur la figure 12, qui représente les courbes de diffusion d'un échantillon en quartz. La courbe supérieure (la même que sur la figure 11) représente la courbe de diffusion d'une surface de quartz taillée normalement à l'axe (base du prisme utilisé, mal polie). Les deux courbes inférieures se rapportent à la même surface taillée parallèlement à l'axe, l'une d'entre elles se rapportant au cas où l'axe est situé dans le plan d'incidence de la lumière, l'autre au cas où l'axe est perpendiculaire à cette dernière. On voit que la différence peut atteindre 100 % dans certaines directions. Pourtant, la valeur absolue de

cette diffusion est si faible que, pratiquement, cette différence n'a pas d'importance. Au point de vue théorique, ce résultat est, par contre, très intéressant : il prouve que **la diffusion des corps cristallisés dépend de la position de l'axe par rapport à la surface en question et par rapport à la direction de la lumière incidente.**

L'origine de cette diffusion anormale pourrait être cherchée dans les propriétés optiques qu'entraîne l'anisotropie. Il est pourtant très possible qu'il s'agisse simplement d'une anisotropie mécanique du quartz, ce qui entraîne une « irrégularité régulière », pour ainsi dire, dans le polissage.

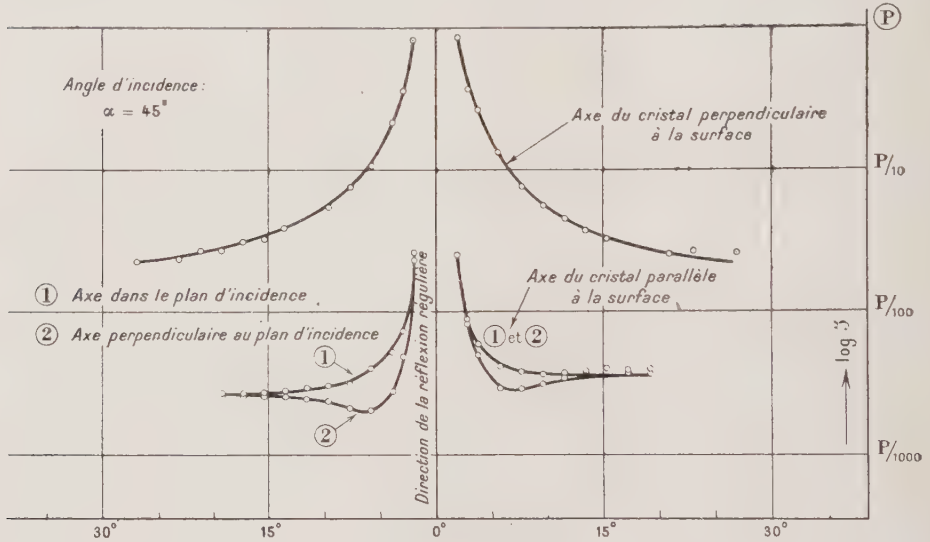


Fig. 12. — Courbes de diffusion du quartz.

Cette régularité serait alors le résultat d'une certaine régularité de la forme des érosions due à la structure cristalline.

Influence de la longueur d'onde.

Pour compléter cette étude, il faut examiner encore l'influence de la longueur d'onde sur les lois de la diffusion de la lumière par les surfaces polies.

J'ai exposé plus haut, d'une façon détaillée, les difficultés que rencontre cette étude. Je ne veux rappeler ici que les nombreuses mesures de contrôle et la longue durée des poses nécessaires. C'est pour cela que l'étude n'a porté que sur une seule surface et pour deux longueurs d'onde seulement. La surface essayée était celle du crown, visiblement mate, polie au rouge d'Angleterre.

La diffusion par cette surface était suffisamment intense pour qu'on

puisse réduire les temps de pose à 4 heures en utilisant une lampe au mercure en quartz comme source. Pour augmenter l'intensité, le système de fentes a été échangé contre une fente d'un demi-millimètre de largeur (1). Ces mesures ne sont donc pas directement comparables avec les autres où la largeur de la fente était de 0 mm, 2 environ.

La figure 13 représente trois courbes de diffusion. Une prise en lumière indigo ($\lambda_1 = 4\,360$), une en lumière ultraviolette ($\lambda_2 = 3\,600$) et une en lumière blanche. L'angle d'incidence pour les trois courbes était de 45° . La largeur de la fente était la même dans les trois essais. Les sources utilisées étaient : pour les lumières monochromatiques l'arc à vapeur de mercure, pour la lumière blanche une lampe à filament de tungstène.

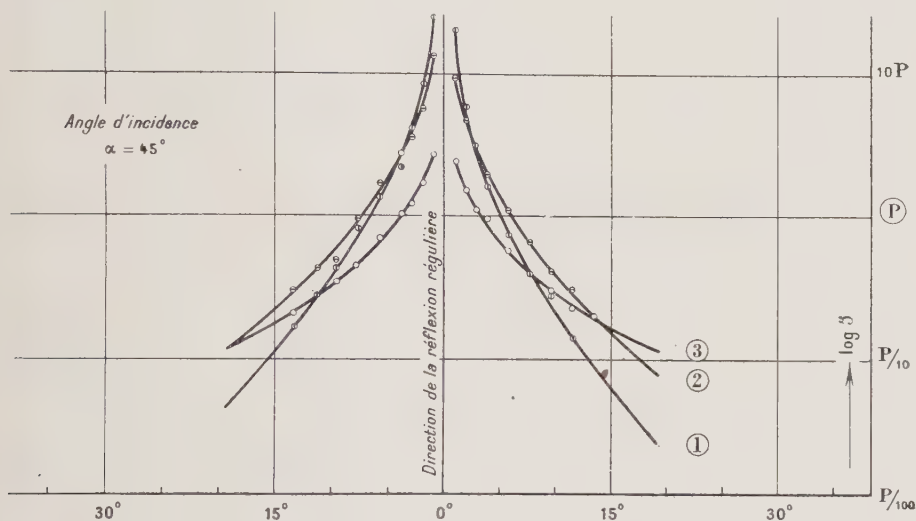


Fig. 13. — Courbes de diffusion d'une même surface en crown pour de la lumière monochromatique 1, $\lambda = 3\,600\text{ Å}$; 2, $\lambda = 4\,360\text{ Å}$ et 3, lumière blanche.

Il a été expliqué (p. 16) que, pour une comparaison exacte, il est nécessaire que l'éclairement de la fente soit rigoureusement uniforme ou bien que les erreurs dues à la non-uniformité de l'éclairement soient éliminées. Comme les sources utilisées au cours des trois essais en question n'étaient pas les mêmes, cette condition ne pouvait être rigoureusement satisfaite. Cela n'a pas d'ailleurs une grande importance, puisqu'ici il ne s'agit pas d'une comparaison numérique entre les mesures en lumière monochromatique et celles en lumière blanche. Cette comparaison serait du reste d'autant plus difficile à faire que la lumière blanche ne peut pas être assimilée dans ces études à une lumière monochromatique d'une certaine longueur d'onde moyenne.

(1) Le système de fentes n'a pas une grande importance ici où l'intensité diffusée est considérable.

D'autre part, l'erreur due à la source ne change pas du tout la forme des courbes (en coordonnées logarithmiques), puisque l'éclairement différent de la fente par les deux sources en question ne fait intervenir qu'un facteur constant. Une comparaison qualitative peut donc être très bien faite.

Les expériences qui ont fourni les résultats représentés sur la figure 13 ont été décrites en détail page 15. Je me bornerai donc ici à l'analyse des résultats.

On voit sur la figure que **la diffusion de la surface augmente si la longueur d'onde diminue**. Pourtant, l'influence de la longueur d'onde ainsi définie est quelque peu limitée. En effet, si l'on s'éloigne de la direction de réflexion régulière, on trouve qu'à partir d'un certain angle l'intensité diffusée qui correspond à la longueur d'onde $\lambda_1 = 4360 \text{ \AA}$ est plus grande que celle correspondant à la radiation ultraviolette (voir la fig. 13).

On devrait donc dire, avec plus d'exactitude, que la diffusion d'une surface croît dans le voisinage de la direction de réflexion régulière (c'est la partie la plus importante en valeur absolue) si la longueur d'onde diminue. Ou encore : **la courbe de diffusion est d'autant plus serrée que la longueur d'onde employée est plus faible**. Il y a ici encore un cas où l'analogie avec les phénomènes de diffraction est évidente.

La courbe pour la lumière blanche — sans être comparable directement avec les deux autres courbes — confirme par son allure ce qui a été dit.

Sur la figure 13, il n'y a que deux courbes pour la lumière monochromatique, ce qui est évidemment insuffisant pour qu'on en tire des lois définitives, d'autant plus que les phénomènes semblent être compliqués. Un simple hasard dans le dispositif de l'expérience m'a pourtant aidé à trouver une formule, d'ailleurs approximative, pour la mise en évidence de l'influence de la longueur d'onde. C'est que le dispositif s'était trouvé tel que les deux diffusogrammes (se rapportant à la lumière monochromatique) présentaient sensiblement les mêmes densités aux points correspondants. Dans la région des densités obtenues, la courbe sensitométrique pouvait être également représentée par une ligne droite pour les deux longueurs d'onde. Ce qui veut dire que, pour la même direction (même densité) de diffusion, les intensités diffusées peuvent être représentées par la formule :

$$I_{\lambda_1} = a I_{\lambda_2} f(\lambda)$$

où I_{λ_1} et I_{λ_2} sont les intensités diffusées dans la même direction pour les deux longueurs d'onde; a est un facteur qui ne varie pas avec l'angle d'observation; $f(\lambda)$ est une fonction de la longueur d'onde dont la valeur — dans notre cas particulier — est égale au rapport inverse des facteurs de développement. Dans l'expérience en question, ce rapport a été de 1,47. Le rapport inverse des carrés des longueurs d'onde est :

$$\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2 = \left(\frac{4360}{3600}\right)^2 = 1,47.$$

Cette concordance est trop favorable. Je dis trop favorable, parce que les erreurs de mesure ne permettent pas de conclure que la concordance trouvée soit réelle. D'autant plus que les densités correspondantes dont il a été question ne sont pas rigoureusement égales, même si l'on fait abstraction des écarts d'une courbe moyenne. C'est pour cette raison que j'ai mis tout simplement dans la formule $f(\lambda)$ au lieu de $\left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right)^2$. Sous cette forme, la formule est en bonne concordance avec l'expérience, au moins en première approximation. Une formule exacte ne pourrait être déterminée qu'avec une plus grande série d'expériences. Il ne serait même pas impossible que cette loi fût en défaut si les essais portaient sur un intervalle plus étendu de longueurs d'onde.

Une étude plus approfondie de cette question serait d'autant plus désirable qu'une théorie mathématique complète du phénomène de la diffusion par les surfaces polies est à chercher certainement dans cette voie.

CONCLUSIONS

La complexité des phénomènes de diffusion par les surfaces polies ne permet pas pour l'instant l'établissement d'une théorie complète et analytique. Les résultats obtenus, sans éclaircir tous les problèmes, permettent pourtant de tirer des conclusions importantes qui peuvent servir de base au développement d'une théorie ultérieure plus complète et plus exacte.

En effet, les expériences ont montré que la diffusion est due presque exclusivement aux irrégularités (aux érosions) de la surface réelle, par rapport à une surface idéale qui ne présenterait — s'il était possible de la réaliser — que des écarts de l'ordre de grandeur des dimensions des molécules. Étant donné d'une part que la surface n'est pas connue géométriquement (et il est invraisemblable qu'elle puisse l'être) et comme d'autre part toute théorie de diffusion superficielle exige la connaissance de la surface, il faut chercher la solution, à mon avis, dans la définition statistique de la surface. J'ai proposé, dans cet ordre d'idées, une représentation statistique de la surface qui pourrait servir de base aux calculs (voir p. 25-27). Si l'on réussissait à soumettre au calcul la diffusion par un modèle concret de ce genre, on pourrait inversement connaître la surface d'une façon statistique sur la base des diffusogrammes qu'elle donne. Quelques-uns des résultats trouvés au cours de cette étude pourraient servir à l'établissement d'une telle théorie.

Nous avons vu par exemple le rôle important de la constante de diffusion définie comme l'exposant d'une certaine fonction F . Cette constante et cette fonction devraient être interprétées par la théorie. La théorie devrait aussi fournir une méthode plus satisfaisante pour la comparaison des diffusions de deux surfaces polies de différents corps.

Des recherches plus approfondies sur l'influence de la longueur d'onde pourraient fournir aussi des résultats précieux pour l'établissement de cette théorie.

Au point de vue pratique, l'existence d'une constante de diffusion peut déjà rendre de grands services, même sans que l'on connaisse sa signification physique. Le but principal de ce travail a été de saisir numériquement le polissage le moins arbitrairement possible. Les expériences ont montré qu'une telle possibilité existait réellement. En effet, la constante de diffusion permet de caractériser le degré de poli d'une surface. De plus, elle fournit le moyen d'évaluer la diffusion sous n'importe quelle condition, pourvu qu'on connaisse la diffusion d'une surface étalon dans les mêmes conditions et la fonction F correspondante.

Il ne faut pourtant pas oublier que la diffusion des surfaces polies est de caractère statistique. Des écarts plus ou moins grands avec les résultats ainsi calculés seront donc toujours possibles. C'est sur la base de ces écarts que j'ai proposé une définition de la bonté de polissage.

Pour terminer, je veux mentionner encore que, pour une étude ultérieure, l'appareil simple utilisé devrait être remplacé par un autre un peu plus compliqué de construction et plus pratique de manœuvre. C'est surtout le châssis circulaire qui devrait être perfectionné. Le porte-pellicule serait mobile dans le sens vertical, l'ouverture du châssis étant fixe. La tache lumineuse due à la lumière régulièrement réfléchie devrait être aussi éliminée sur un appareil de précision.

Il ne serait même pas impossible de construire un appareil pour l'essai direct des pièces d'optique, sans qu'il soit excessivement compliqué.

Je tiens à dire combien je suis respectueusement reconnaissant à M. le professeur Fabry de l'accueil qu'il m'a réservé aux laboratoires de l'« Institut d'Optique théorique et appliquée », où ce travail a été fait sous sa direction, et des précieux conseils qu'il a prodigués au cours des essais. J'adresse mes meilleurs remerciements au personnel des laboratoires de l'Institut d'Optique, spécialement à M. Arnulf, chef des travaux, pour l'aide que j'y ai reçue. Je remercie la direction de l'Institut d'Optique d'avoir bien voulu réaliser dans ses ateliers l'appareil que j'ai fait établir et utilisé au cours des expériences.

Je prie également M. le comte Cuno Klebelsberg, Ministre de l'Instruction publique et des Cultes de Hongrie, de trouver ici l'expression de ma profonde reconnaissance pour avoir bien voulu m'accorder des bourses d'études pendant le temps de mes recherches à l'Institut d'Optique théorique et appliquée.

DEUXIÈME THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

LES APPLICATIONS DE L'EFFET PHOTOÉLECTRIQUE

VU ET APPROUVÉ :

Paris, le 28 mars 1930.

Le Doyen de la Faculté des Sciences,

C. MAURAIN.

VU ET PERMIS D'IMPRIMER :

Le Recteur de l'Académie de Paris,

S. CHARLÉTY.
